



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Εξοικονόμηση ενέργειας και οπτική άνεση κτιρίων με χρήση φωτοσωλήνων

Χριστοφοράκη Μαρία



Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Δ. Κολοκοτσά

Χανιά

Σεπτέμβριος 2014

Ευχαριστίες

Κατά τη διάρκεια της συγγραφής της παρούσας διπλωματικής εργασίας, η επιβλέπουσα Καθηγήτρια κα. Δ. Κολοκοτσά έδωσε τις κατευθυντήριες γραμμές για το επιστημονικό περιεχόμενο της εργασίας, ανέγνωσε επιμελώς το κείμενο, υπέδειξε παραλείψεις και έκανε χρήσιμες διορθώσεις και την ευχαριστώ θερμά γι αυτό.

Οφείλω επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην διδάκτορα και ερευνήτρια κα. Κωνσταντίνα Βασιλακοπούλου για τις συμβουλές, τις συνεχείς υποδείξεις, καθώς και την επιστημονική και ηθική συμπαράσταση κατά τη συγγραφή της εργασίας αυτής. Την ευχαριστώ επίσης για το πλήθος των πληροφοριών, δεδομένων και συμπερασμάτων που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της συνεργασίας μας, δεδομένα που απορρέουν κυρίως από την έρευνα που αναπτύχθηκε από την Ομάδα Ερευνών Κτιριακού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού Προγράμματος HERB.

Περίληψη

Η εξοικονόμηση ενέργειας και η ανεύρεση νέων πηγών παραγωγής καθώς και βελτιστών τρόπων διαχείρισης της, αποτελεί έναν σημαντικό και συνεχώς εξελισσόμενο τομέα στον κλάδο της ενέργειας.

Αν και η εξοικονόμηση ενέργειας δεν είναι η λύση του προβλήματος, η ανεύρεση νέων τεχνολογιών για τη μείωση της χρήσης ρεύματος από συμβατικές πηγές αποτελεί σημαντικό βήμα στην μείωση της κατασπατάλησης της.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιολογήθηκαν οι φωτιστικές συνθήκες που πρέπει να επικρατούν σε έναν χώρο, στην οροφή του οποίου είναι εγκατεστημένος ένας φωτοσωλήνας καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση της τεχνολογίας αυτής.

Αρχικά, αναλύονται κάποιες εισαγωγικές έννοιες που αφορούν τη φύση του φωτός και ορισμένα φωτομετρικά μεγέθη που αφορούν την ποιότητα του φωτισμού και τις παραμέτρους που λαμβάνονται υπόψη στην μελέτη των φωτιστικών συνθηκών σε ένα δωμάτιο.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μέθοδοι υπολογισμού της φωτεινότητας σε ένα δωμάτιο με εγκατεστημένο φωτοσωλήνα στην οροφή του, καθώς και τα ηλεκτρονικά προγράμματα και τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της απόδοσης του φωτοσωλήνα.

Ο φωτοσωλήνας που έχει εγκατασταθεί στην πειραματική διάταξη η οποία παρουσιάζεται στην διπλωματική αυτή εργασία, επιτρέπει την είσοδο του φωτός στο χώρο και παράλληλα, με τη βοήθεια εγκατεστημένων LEDs, τον τεχνητό φωτισμό του σε περιόδους της ημέρας που δεν υπάρχει επαρκές φως από τον ήλιο.

Στόχος της ανάλυσης που ακολουθεί είναι ο υπολογισμός της απόδοσης του φωτοσωλήνα (δηλαδή του μέσου όρου Φωτεινότητας από το φυσικό φως που παρέχει ο φωτοσωλήνας σε ένα δεδομένο χώρο) και του αριθμού των πηγών τεχνητού φωτός που πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα ώστε να συμπληρώνουν το φυσικό φως. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός υπολογιστικού εργαλείου που αναπτύχθηκε από την Ομάδα Ερευνών Κτιριακού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού Προγράμματος HERB.

Τέλος, η σύγκριση των πειραματικών δεδομένων και των στοιχείων που προκύπτουν με τα θεωρητικά δεδομένα του υπολογιστικού εργαλείου έχει ως στόχο την ανεύρεση της εξοικονόμησης ενέργειας που προσφέρει η τεχνολογία του φωτοσωλήνα με εγκατεστημένα LEDs σε σύγκριση με τις κοινές λάμπες πυρακτώσεως που θα απαιτούνταν για τον φωτισμό του χώρου αυτού.

Abstract

Not only energy saving but also finding new sources of production and best ways to manage it, is an important and constantly evolving field in the energy sector.

Although saving energy is not the solution to the problem, the search of new technologies to reduce the use of electricity from conventional sources is an important step in reducing the wastage.

This thesis evaluated the lighting conditions that must be established in an area, on the roof of which is established a light pipe and the savings resulting from the use of this technology.

Initially, at this work, is analyzed some introductory concepts concerning the nature of light and certain photometric measurements concerning the quality of light and the parameters considered in the study of light in a room.

Continuously, are analyzed the methods for calculating the brightness in a room with light pipe installed on the roof, as well as computer programs and tools that are used to calculate the efficiency of light pipe.

The light pipe which is installed in the experimental device and presented in this thesis, allows the entry of light in the room but at the same time, by using the installed LEDs, the artificial lighting during times of day when there is not enough light from the sun.

The purpose of the following analysis is the calculation of the efficiency of light pipe (the average Luminance of natural light provided by the light pipe in the given area) and the number of artificial light sources to be integrated into the system in order to complement the natural light . This is achieved by using a computational tool developed by the Research Group of Building Environmental Studies, University of Athens, under the European Program HERB.

Finally, the comparison of experimental data and the data obtained by the computational tool is designed to detect the energy savings offered by a light pipe technology installed LEDs in comparison with ordinary lamps that would be required for the lighting of this area.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή.....	7
1.1	Το φως.....	7
1.2	Βασικά φωτομετρικά μεγέθη	9
1.3	Βασικές μέθοδοι υπολογισμού των επιπέδων φωτισμού σε ένα χώρο	12
1.3.1	Η Lumen μεθοδολογία.....	12
1.3.2	Η μεθοδολογία σημειακής πηγής.....	14
1.4	Αξιολόγηση «Φωτιστικών συνθηκών» σε έναν εσωτερικό χώρο.....	16
1.5	Τεχνητός φωτισμός και Είδη λαμπτήρων	20
1.5.1	Λαμπτήρες πυρακτώσεως:	21
1.5.2	Λαμπτήρες πυρακτώσεως αλογόνου	21
1.5.3	Λαμπτήρες φθορισμού.....	21
1.5.4	Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού	22
1.5.5	Λαμπτήρες εκκένωσης.....	22
1.5.6	Οπτικές ίνες.....	22
1.5.7	Λαμπτήρες LED.....	23
1.6	Φυσικός φωτισμός και ήλιος.....	24
1.6.1	Κίνηση του ήλιου.....	24
1.6.2	Φυσικό φως και κτίρια.....	25
1.6.3	Παράγοντες σχεδιασμού του φυσικού φωτισμού	26
2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	37
2.1	Luxplot method	38
2.2	Μέθοδος TTE.....	39
2.3	Ηλεκτρονικά Προγράμματα	41
3	Μεθοδολογία διεξαγωγής υπολογισμών.....	44
3.1	Εργαλείο θεωρητικού υπολογισμού απόδοσης φωτοσωλήνων	44
i.	Εφαρμογή των μεθόδων TTE και Luxplot.....	44
ii.	Χρήση του υπολογιστικού εργαλείου.....	48
3.2	Πειραματική διάταξη	49
3.2.1	Χώρος διεξαγωγής πειράματος:.....	50
3.2.2	Περιγραφή μετρητικού εξοπλισμού:.....	50
3.2.3	Εγκατεστημένο σύστημα φωτισμού	54

4	Αποτελέσματα.....	55
4.1	Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων.....	55
4.2	Σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του υπολογιστικού εργαλείου (μέθοδοι TTE-Luxplot και TTE-προσομοιώσεις) με τα πειραματικά δεδομένα.....	73
4.3	Μέτρηση της Λαμπρότητας και αξιολόγηση φαινομένων θάμβωσης.....	74
4.4	Συνδυασμός φυσικού και τεχνητού φωτός.....	76
4.5	Υπολογισμός εξοικονόμησης ενέργειας για τεχνητό φωτισμό	79
5	Συμπεράσματα	82
6	Βιβλιογραφία	86
	Παράρτημα.....	88

1 Εισαγωγή

Η εργασία αυτή έχει ως στόχο την μελέτη και περιγραφή ενός συστήματος φωτισμού που αποτελείται από ένα φωτοσωλήνα (light-pipe), λαμπτήρες LED και έναν αισθητήρα φωτός, με σκοπό την οπτική άνεση και την εξοικονόμηση ενέργειας σε έναν εσωτερικό χώρο.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού έχουν πραγματοποιηθεί υπολογισμοί και προσομοιώσεις, που επιτρέπουν την αξιολόγηση της απόδοσης του εξεταζόμενου συστήματος φωτισμού, τη σύγκριση των θεωρητικών και πειραματικών δεδομένων και τη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας του συστήματος. Τα βήματα που έχουν υλοποιηθεί, είναι:

1. χρησιμοποιείται ένα υπολογιστικό εργαλείο, που αναπτύχθηκε από την Ομάδα Ερευνών Κτιριακού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού Προγράμματος HERB. Το εργαλείο έχει σαν στόχο τον υπολογισμό α) της απόδοσης του φωτοσωλήνα (δηλαδή του μέσου όρου Φωτεινότητας από το φυσικό φως που παρέχει ο φωτοσωλήνας σε ένα δεδομένο χώρο) και β) του αριθμού των πηγών τεχνητού φωτός που πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα ώστε να συμπληρώνουν το φυσικό φως, μέχρι τα επιθυμητά επίπεδα με τη βοήθεια του φωτο-σένσορα. Το εργαλείο αυτό θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να υπολογιστεί η απόδοση του φωτοσωλήνα για συγκεκριμένες τιμές εξωτερικής φωτεινότητας.
2. περιγράφεται η πειραματική διάταξη στην οποία έχει εγκατασταθεί το μελετώμενο σύστημα και αναλύονται ενδεικτικά πειραματικά δεδομένα που έχουν έως σήμερα προκύψει..
3. συγκρίνονται τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν με τα θεωρητικά δεδομένα του υπολογιστικού εργαλείου.
4. αξιολογείται η ποιότητα του παραγόμενου (φωτιστικού) περιβάλλοντος, λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις Φωτεινότητας και Λαμπρότητας.

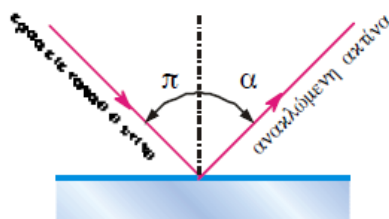
Το εισαγωγικό αυτό κεφάλαιο περιλαμβάνει κάποιες από τις βασικές έννοιες που αφορούν στο φως και το φωτισμό, τις μεθόδους εισόδου του φωτός στα κτίρια αλλά και τους τρόπους υπολογισμού που χρησίμευσαν, είτε σαν βασικές πρωταρχικές γνώσεις είτε σαν εργαλεία για τον υπολογισμό της απόδοσης του συστήματος των φωτοσωλήνων, με τους οποίους κυρίως ασχολείται η εργασία αυτή.

1.1 Το φως

Η πρώτη επαφή με τον ορισμό του φωτός ανάγει την αναζήτηση στο επίπεδο της φύσης του. Δηλαδή το ερώτημα που τίθεται έχει να κάνει με το εάν το φώς είναι σωματίδιο ή κύμα. Η αναζήτηση της φύσης του φωτός ξεκινάει από τους αρχαιότερους χρόνους με εικασίες που εστιάζουν στη σωματιδιακή φύση του.

Η σωματιδιακή φύση του φωτός έγκειται στο γεγονός ότι ο Ήλιος όπως και κάθε άλλη φωτοβολούσα πηγή εκπέμπει μικρά σωματίδια, τα φωτόνια. Τα φωτόνια κινούνται με πολύ μεγάλη ταχύτητα και όταν πέφτουν στο μάτι του παρατηρητή διεγείρουν το αισθητήριο όργανο της όρασης.

Αργότερα ο Νεύτωνας στηρίχτηκε σε αυτή τη θεωρία και με βάση την αρχή διατήρησης της ενέργειας και της ορμής κατέληξε στον νόμο της ανάκλασης του φωτός (όπου γωνία πρόσπτωσης = γωνία ανάκλασης). Όπως φαίνεται και στην **Εικόνα 1**.

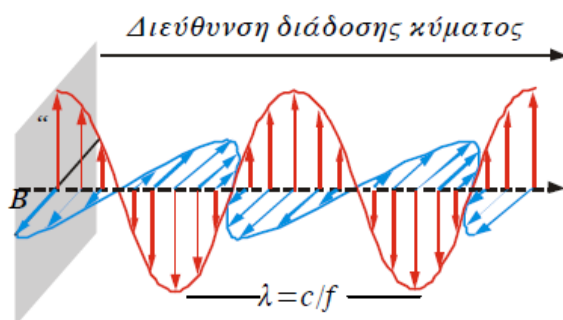


Εικόνα 1: Νόμος της ανάκλασης του φωτός

Πηγή: (<https://www.teicrete.gr/physics/lab/fdm/eppa/mk/fasmatoskopio.pdf>)

Στη συνέχεια οι Christian Huygens και Tomas Young απέδειξαν την κυματιδιακή φύση του φωτός (εγκάρσια κύματα, Εικόνα 2), ερευνώντας το φαινόμενο της περίθλασης, μέσω πειραματικών διαδικασιών.

Ο Maxwell απέδειξε ότι το φως είναι εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ο Max Planck χρησιμοποιώντας τη συμπεριφορά του φωτός σαν σωματίδιο ερμηνεύει την ακτινοβολία που εκπέμπουν τα θερμά σώματα και στη συνέχεια ο Einstein ερμηνεύει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.



Εικόνα 2: Στιγμιότυπο ηλεκτρομαγνητικού κύματος που διαδίδεται οριζόντια. Οι εντάσεις 'E' και B είναι κάθετες στην διεύθυνση διάδοσης του κύματος και γι αυτό τα κύματα αυτά ονομάζονται εγκάρσια.

Πηγή: (<https://www.teicrete.gr/physics/lab/fdm/eppa/mk/fasmatoskopio.pdf>)

Μετά από την ιστορική αυτή αναδρομή καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι το φως συμπεριφέρεται ως κύμα και ως σωματίδιο (φωτόνιο). Η κυματική φύση του φωτός, δηλαδή η συμπεριφορά του σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ερμηνεύει τα φαινόμενα της συμβολής, της περίθλασης και της πόλωσης, ενώ τα φαινόμενα της απορρόφησης και

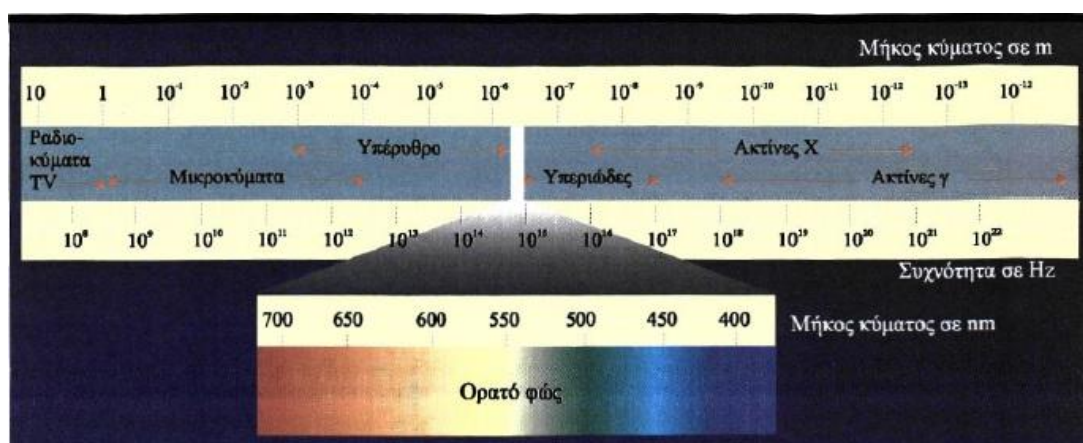
της εκπομπής, όπως το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο, ερμηνεύονται με τη σωματιδιακή φύση του φωτός.

Ένας γενικός ορισμός που έχει επικρατήσει επίσης είναι ο εξής:

Φως ονομάζεται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανιχνεύεται από το ανθρώπινο μάτι (οφθαλμό) και που εκλαμβάνεται ως αίσθηση (αντίληψη) αυτής. Συνεπώς είναι το αίτιο της όρασης.

Όμως η αντίληψη αυτή του "ορατού" φωτός αποτελεί τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καλύπτει ένα εύρος μηκών κύματος που «μεταφράζονται», από το μάτι, στα χρώματα του φωτεινού φάσματος (στα χρώματα του ουράνιου τόξου). ("Τί είναι το φως, σωματίδιο ή κύμα,," n.d.)

Από το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας το ανθρώπινο μάτι αντιλαμβάνεται ένα μικρό κομμάτι. όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3 (Energy, 2010).



Εικόνα 3: Φάσμα του ορατού φωτός σε nm.

Πηγή: (<http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C108/141/1021,3660/>)

1.2 Βασικά φωτομετρικά μεγέθη

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ορισμοί των μεγεθών που αφορούν τα ποσοτικά μεγέθη που σχετίζονται με το φως (φωτεινή ροή, ένταση φωτεινής πηγής, φωτεινότητα επιφάνειας, κλπ.), καθώς και τα ποιοτικά μεγέθη (θάμβωση, ανάκλαση). Οι ορισμοί αυτοί πρόκειται να διευκολύνουν στην κατανόηση των μεθοδολογιών υπολογισμού που αναλύονται στην εργασία αυτή.

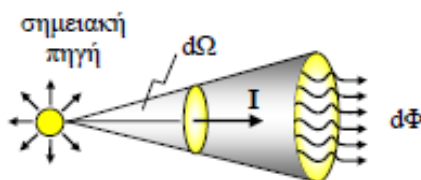
Η *Φωτεινή ροή* (Luminous flux, Φ). Εκφράζει το συνολικό ποσό φωτεινής ενέργειας που εκπέμπεται από μια σημειακή φωτεινή πηγή στη μονάδα του χρόνου. Εκφράζεται από την εξίσωση:

$$\Phi = \frac{dE}{dt} \quad (1)$$

Μονάδα μέτρησης της στο SI αποτελεί το Lumen (Lm)

Ως dE ορίζεται το στοιχειώδες ποσό ενέργειας που εκπέμπεται από τη φωτεινή πηγή υπό μορφή ορατής ακτινοβολίας (0,4-0,7 μm) σε χρόνο dt .

Η Φωτοβολία ή Ένταση μίας φωτεινής σημειακής πηγής (Luminous Intensity, I) προς μία συγκεκριμένη διεύθυνση, είναι το πηλίκο της φωτεινής ροής $d\Phi$ (lm) ανά μονάδα στερεάς γωνίας $d\Omega$ (steradian) με άξονα αυτή τη διεύθυνση (Εικόνα 4).



Εικόνα 4. Σχηματική απεικόνιση της έντασης μιας σημειακής πηγής
Πηγή: (<http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf>)

Εκφράζεται από την εξίσωση:

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (2)$$

Η μονάδα μέτρησης της φωτεινής έντασης είναι το 1cd (candela).

Ωστόσο, το φως, όπως το αντιλαμβανόμαστε, δεν έχει να κάνει τόσο με το φως που εκπέμπει η σημειακή πηγή αλλά με η φωτεινότητα των επιφανειών.

Η Φωτεινότητα επιφάνειας, E ορίζεται ως:

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (3)$$

Σαν dS ορίζεται εμβαδό επιφάνειας επί της οποίας προσπίπτει φωτεινή ροή $d\Phi$.

Η μονάδα μέτρησης της Φωτεινότητας είναι το 1 Lux. Αντιστοιχεί σε φωτισμό επιφάνειας 1m^2 από φωτεινή ροή 1Lumen η οποία προσπίπτει κάθετα σε φωτιζόμενη επιφάνεια. Ο Πίνακας 1 που ακολουθεί περιλαμβάνει ενδεικτικές τιμές Φωτεινότητας που παράγουν οι πιο συνήθεις πηγές φωτισμού.

Τυπικές τιμές φωτισμού	
φωτισμός από αστέρια	10^{-4} lux
φωτισμός από πανσέληνο	0,2 lux
νυκτερινός φωτισμός δρόμου	20 lux
τυπικός φωτισμός δωματίου	100 lux
φωτισμός ανάγνωσης	500 lux
φωτισμός για λεπτομερή εργασία	2000-5000 lux
τυπική φωτεινή ημέρα	10^4 lux
άμεσος ηλιακός φωτισμός	10^5 lux

Πίνακας 1. Ενδεικτικές τιμές Φωτεινότητας που παράγουν οι πιο συήθειες πηγές φωτισμού

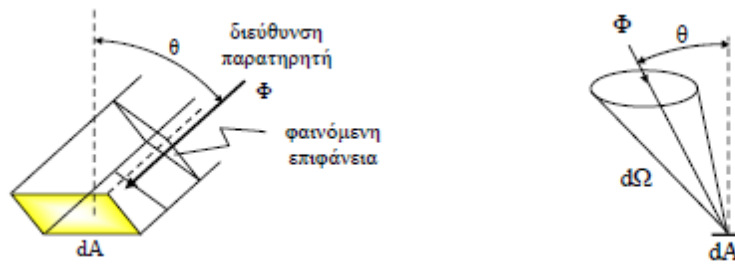
Η φωτεινότητα στο φυσικό περιβάλλον μπορεί να ξεπεράσει τα 100.000lux μια ηλιόλουστη καλοκαιρινή μέρα, ενώ μπορεί να πέσει κάτω από 5000lx μια συννεφιασμένη μέρα. Βέβαια αυτά τα απόλυτα αριθμητικά ποσά έχουν μικρή σημασία στην αντίληψη του ανθρώπου για το τί σημαίνει φωτεινότητα. Αυτό που πραγματικά αντιλαμβανόμαστε εμείς είναι η λαμπρότητα της επιφάνειας στην οποία πέφτει το φως.

Η *Λαμπρότητα* (Luminance, L) ορίζεται θεωρώντας μια ακτίνα φωτός ως ένα απειροελάχιστο κώνο με την κορυφή του σε ένα σημείο μιας επιφάνειας. Ο κώνος σχηματίζει στοιχειώδη στερεά γωνία $d\Omega$. Αν το σημείο τομής της ακτίνας με την επιφάνεια βρίσκεται σε ένα στοιχειώδες τμήμα dA της επιφάνειας, τότε η εγκάρσια τομή της ακτίνας θα είναι $dA \cdot \cos\theta$, όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της ακτίνας και της καθέτου στην επιφάνεια, όπως φαίνεται στην Εικόνα 5. Η εγκάρσια τομή της ακτίνας είναι η προβολή της dA και το φως φαίνεται να προέρχεται πρακτικά από αυτήν (είναι η φαινόμενη επιφάνεια από τον παρατηρητή).

Ως *Λαμπρότητα* (L_v) ορίζεται η φωτεινή ροή που αναδύεται ανά μονάδα στερεάς γωνίας από στοιχειώδη επιφάνεια dA προς συγκεκριμένη διεύθυνση και ανά μονάδα φαινόμενης επιφάνειας κάθετης προς αυτή τη διεύθυνση:

$$L_v = \frac{d^2\Phi}{d\Omega dA \cos\theta} \quad (4)$$

όπου $d\Phi$ είναι η φωτεινή ροή που εκπέμπεται (ή ανακλάται) από στοιχειώδες τμήμα επιφάνειας dA μέσα από στερεά γωνία $d\Omega$ όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5. Σχηματική απεικόνιση της Λαμπρότητας

Πηγή: (<http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf>)

Μονάδα μέτρησης στο SI είναι το $\text{lm sr}^{-1} \text{m}^{-2}$ ή cd m^{-2}

Η *Ολική φωτεινή ροή* είναι η γεωμετρικά συνολική φωτεινή ροή μιας πηγής και ορίζεται ως:

$$\Phi_{\text{ολ}} = \int_{\Omega} I d\Omega \quad (5)$$

Ως I ορίζεται η κατανομή της φωτοβολίας της πηγής σε κλειστή επιφάνεια γύρω από την πηγή. (“Φωτομετρικά μεγέθη – πολική κατανομή φωτοβολίας,” n.d.)

1.3 Βασικές μέθοδοι υπολογισμού των επιπέδων φωτισμού σε ένα χώρο

Το επίπεδο φωτισμού στον υπό μελέτη χώρο εστιάζει αρχικά στον απαιτούμενο αριθμό λαμπτήρων ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ένταση φωτισμού.

Ο δείκτης που χρησιμοποιείται για την μέτρηση της αποτελεσματικότητας της αλληλεπίδρασης των χαρακτηριστικών του χώρου με αυτά του φωτισμού είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης.

Συντελεστής χρησιμοποίησης (Utilization Factor - UF) μιας εγκατάστασης ονομάζεται ο λόγος της ροής που φωτίζει το επίπεδο εργασίας, είτε άμεσα είτε έμμεσα μετά από ανάκλαση στις επιφάνειες του χώρου, προς την ροή που ακτινοβολούν τα φωτιστικά σώματα.

Οι πίνακες του συντελεστή χρησιμοποίησης είναι απαραίτητοι για την εφαρμογή της μεθοδολογίας *Lumen* και την εύρεση του απαιτούμενου αριθμού φωτιστικών πηγών (αριθμός λαμπτήρων) στο σχεδιασμό συστημάτων φωτισμού και δίνονται συνήθως από τους κατασκευαστές φωτιστικών σωμάτων και λαμπτήρων.

1.3.1 Η *Lumen* μεθοδολογία

Η εξίσωση υπολογισμού της απαιτούμενης έντασης φωτισμού, που αποτελεί ουσιαστικά τη μεθοδολογία *Lumen*, είναι η εξής:

$$E = \frac{n \cdot N \cdot F \cdot UF \cdot LLF}{S} \quad (6)$$

Όπου :

E = απαιτούμενη ένταση φωτισμού στην οριζόντια επιφάνεια εργασίας

n = αριθμός των λαμπτήρων σε κάθε φωτιστικό σώμα

N = αριθμός των φωτιστικών σωμάτων

F = ονομαστική φωτεινή ροή του λαμπτήρα η οποία παρέχεται από τον κατασκευαστή

UF = ο συντελεστής χρησιμοποίησης για την επιφάνεια εργασίας

LLF = ο συντελεστής γήρανσης (Light Loss Factor)

S = η επιφάνεια εργασίας

Από τον παραπάνω τύπο (Εξίσωση 6), προκύπτει ότι ο ζητούμενος αριθμός των λαμπτήρων που θα παρέχουν φωτισμό στον χώρο ισούται με:

$$N = \frac{E \cdot S}{n \cdot F \cdot UF \cdot LLF} \quad (7)$$

Τα απαιτούμενα επίπεδα φωτισμού για κάθε είδος χώρου παρέχονται από τα αντίστοιχα Πρότυπα και εξαρτώνται από τη λειτουργία του χώρου αυτού.

Ο συντελεστής γήρανσης (LLF) προκύπτει από τον ακόλουθο τύπο:

$$LLF = LLMF \cdot LMF \cdot RSMF \quad (8)$$

Όπου:

LLF (Light Loss Factor) = Ο συντελεστής γήρανσης

LLMF (Lamp Lumen Maintenance Factor) = Ο συντελεστής συντήρησης του λαμπτήρα. Είναι το ποσοστό της εκπεμπόμενης φωτεινής ροής του λαμπτήρα μετά από ένα δεδομένο χρονικό διάστημα λειτουργίας του προς την εκπεμπόμενη φωτεινή ροή ενός ίδιου καινούργιου λαμπτήρα (μείωση της φωτεινής ροής του λαμπτήρα με την πάροδο του χρόνου).

LMF (Luminaire Maintenance Factor) = Ο συντελεστής συντήρησης του φωτιστικού σώματος. Είναι το ποσοστό της φωτεινής ροής που εξέρχεται του φωτιστικού σώματος μετά από ένα δεδομένο χρονικό διάστημα προς την εκπεμπόμενη φωτεινή ροή του λαμπτήρα μετά από το ίδιο χρονικό διάστημα. Οφείλεται στην συγκέντρωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης στο φωτιστικό σώμα.

RSMF (Room Surface Maintenance Factor) = Ο συντελεστής συντήρησης του χώρου. Είναι το ποσοστό της φωτεινής ροής που παρέχεται από την εγκατάσταση φωτισμού στον χώρο μετά από ένα δεδομένο χρονικό διάστημα προς την εκπεμπόμενη φωτεινή ροή όταν ο χώρος ήταν καθαρός. Επηρεάζεται από την συσσώρευση ρύπανσης στις επιφάνειες του χώρου και προκαλούν την μείωση των συντελεστών ανάκλασης αυτών των επιφανειών.

Τέλος, για τον υπολογισμό του αριθμού των φωτιστικών σωμάτων απαιτείται ο προσδιορισμός των διαστάσεων του χώρου, το ύψος τοποθέτησης των φωτιστικών σωμάτων και ο υπολογισμός του συντελεστή χρησιμοποίησης.

1.3.2 Η μεθοδολογία σημειακής πηγής

Η μεθοδολογία αυτή στηρίζεται στη θεωρία της ύπαρξης μίας σημειακής πηγής και ουσιαστικά αποτελεί τον πρώτο νόμο της φωτομετρίας ή νόμο του αντίστροφου τετραγώνου.

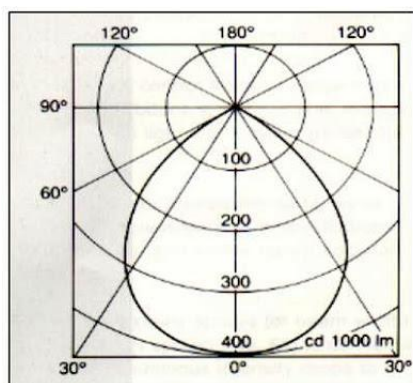
Τρεις παράγοντες πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την εφαρμογή της μεθόδου: η φωτεινή ένταση, η απόσταση και ο προσανατολισμός της επιφάνειας.

1. Φωτεινή ένταση (I) μιας σημειακής πηγής είναι το πηλίκο της φωτεινής ροής $d\Phi$ (lm) ανά μονάδα στερεάς γωνίας $d\Omega$ (steradian) με άξονα αυτή τη διεύθυνση.

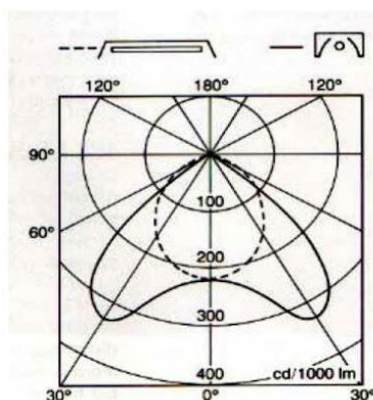
Η φωτεινή ένταση οποιασδήποτε πηγής αναπαρίσταται γραφικά σε διαγράμματα που ονομάζονται καμπύλες διανομής ενέργειας candela (candlepower distribution curves).

Μία καμπύλη, αναπαριστά τη μεταβολή της φωτεινής έντασης ενός λαμπτήρα ή φωτιστικού σε ένα επίπεδο γύρω από την φωτεινή κεντρική πηγή.

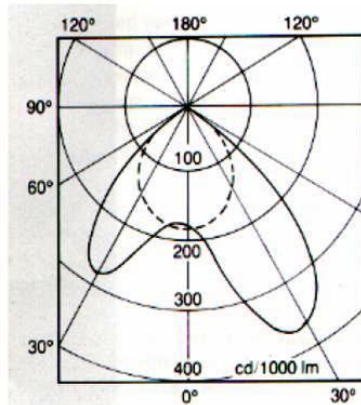
Τρεις τύποι τέτοιων διαγραμμάτων μπορούν να περιγράψουν το σύνολο των φωτιστικών πηγών (Εικόνα 6, Εικόνα 7, Εικόνα 8):



Εικόνα 6: Σφαιρικά συμμετρική κατανομή έντασης φωτός



Εικόνα 7: Κατανομή έντασης φωτός συμμετρική κατά μια κατακόρυφη επιφάνεια



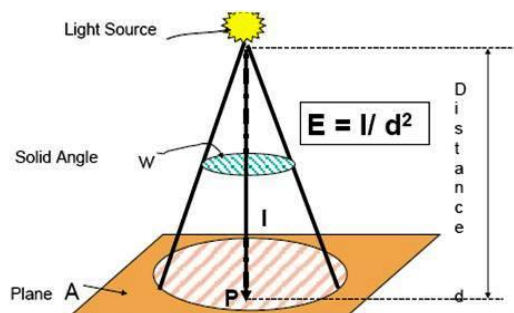
Εικόνα 8: Ασύμμετρη κατανομή έντασης φωτός

Πηγή: (<http://www.electrical-knowhow.com/2012/12/point-by-point-method-for-lighting.html>)

2. Απόσταση:

Η απόσταση μεταξύ μίας επιφάνειας και της πηγής επηρεάζει την ένταση του φωτισμού.

Η επιφάνεια που βρίσκεται πιο κοντά στην πηγή λαμβάνει μεγαλύτερο τμήμα του κώνου της φωτεινής ροής σε σχέση με μία επιφάνεια που βρίσκεται πιο μακριά.



Εικόνα 9. Ο νόμος του αντίστροφου τετραγώνου

Πηγή: (<http://www.electrical-knowhow.com/2012/12/point-by-point-method-for-lighting.html>)

Φαίνεται και από το σχήμα (Εικόνα 9) ότι η διατομή του κώνου αυξάνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από την πηγή ενώ η λαμπρότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης. Αυτό περιγράφεται από τη σχέση:

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (9)$$

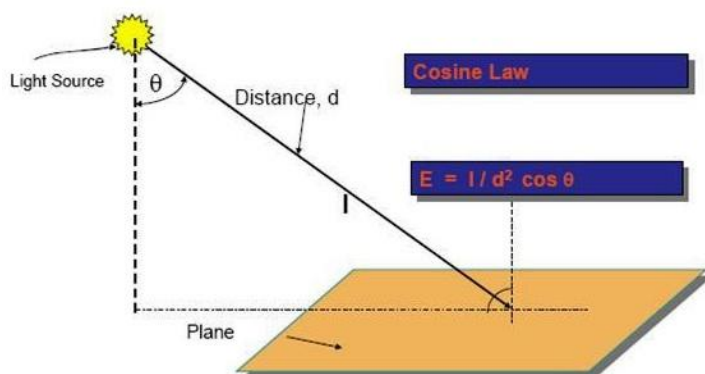
Όπου:

E: η φωτεινότητα της επιφάνειας

I: η φωτεινή ένταση της πηγής προς την διεύθυνση της επιφάνειας

d: η απόσταση από την πηγή προς την επιφάνεια

3. Ο προσανατολισμός της επιφάνειας



Εικόνα 10: Θέση της επιφάνειας σε σχέση με το εκπεμπόμενο φως

Πηγή: (<http://www.electrical-knowhow.com/2012/12/point-by-point-method-for-lighting.html>)

Πρόκειται για τον ίδιο νόμο με αυτόν της απόστασης με τη διαφορά ότι προστίθεται η συνθήκη του προσανατολισμού. Δηλαδή θα ισχύει:

$$E = \frac{I}{d^2 \cdot \cos \theta} \quad (10)$$

Όπου:

θ : η γωνία μεταξύ της φωτεινής ακτίνας από την πηγή ως το σημείο που εξετάζεται και μίας γραμμής κάθετης προς το επίπεδο που βρίσκεται το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται το σημείο (Εικόνα 10). (“Point by Point Method for Lighting Design ~ Electrical Knowhow,” n.d.)

1.4 Αξιολόγηση «Φωτιστικών συνθηκών» σε έναν εσωτερικό χώρο

Η αξιολόγηση των φωτιστικών συνθηκών ενός χώρου πραγματοποιείται βάσει του βαθμού εκπλήρωσης τριών βασικών αναγκών:

- Της οπτικής άνεσης, παρέχοντας στους χρήστες του κτιρίου ένα αίσθημα ευεξίας που με έμμεσο τρόπο συμβάλλει στην αύξηση του επιπέδου παραγωγικότητας
- Της οπτικής απόδοσης, όπου οι χρήστες του κτιρίου είναι σε θέση εκτέλεσης των οπτικών καθηκόντων τους, ακόμη και κάτω από δύσκολες συνθήκες και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα
- Της αίσθησης ασφάλειας που παρέχει το φωτισμένο περιβάλλον.

Οι κύριες παράμετροι που καθορίζουν την οπτική άνεση είναι η κατανομή της φωτεινότητας, η θάμβωση, η κατεύθυνση εκπομπής φωτός (directionality) και η χρωματική απόδοσή του.

Όταν το φως διαχέεται ομοιόμορφα στο χώρο εξασφαλίζεται τόσο η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας όσο και η επιδιωκόμενη οπτική άνεση. Οι δύο βασικές έννο-

ιες που αποδίδουν την ποιότητα της κατανομής φωτεινότητας είναι η Ομοιογένεια (Uniformity) και η Αντίθεση (Contrast).

Ομοιομορφία λαμπρότητας (Uniformity, U):

Η ομοιομορφία εκφράζεται για διεύθυνση είτε κάθετη στη διεύθυνση του παρατηρητή (εγκάρσια ομοιομορφία), είτε παράλληλα με τη διεύθυνση του (διαμήκης ομοιομορφία). Για την εκτίμηση της ομοιομορφίας της λαμπρότητας εκτιμώνται τρεις συντελεστές: ο γενικός συντελεστής ομοιομορφίας, ο συντελεστής εγκάρσιας και διαμήκους ομοιομορφίας.

Γενικός συντελεστής ομοιομορφίας: ορίζεται ως ο λόγος

$$L_{\min}/L_{\text{med}} \quad \text{ή} \quad L_{\min}/L_{\max}$$

όπου L_{\min} , L_{med} , L_{\max} η ελάχιστη, μέση και η μέγιστη αντίστοιχα λαμπρότητα στο σύνολο της εξεταζόμενης επιφάνειας.

Συντελεστής εγκάρσιας ομοιομορφίας: ορίζεται ως ο λόγος

$$L_{\min}/L_{\max}$$

Συντελεστής διαμήκους ομοιομορφίας: ορίζεται ομοίως ως ο λόγος

$$L_{\min}/L_{\max}.$$

Όταν το ακριβές μέγεθος της περιοχής εργασία δεν είναι γνωστό, οι υπολογισμοί μπορούν να βασίζονται σε μια περιοχή μέτρησης 0,5m x 0,5m που βρίσκεται αμέσως μπροστά στον παρατηρητή ή στην άκρη της επιφάνειας εργασίας.

Συνιστάται η ομοιομορφία του φωτισμού πάνω σε οποιαδήποτε επιφάνεια εργασίας να μην είναι μικρότερη από 0,7.

Μεγάλες χωρικές μεταβολές στην φωτεινότητα γύρω από την περιοχή εργασιών μπορεί να οδηγήσουν σε οπτικό άγχος και δυσφορία. Ο φωτισμός των άμεσων γύρω περιοχών μπορεί να είναι λιγότερο από τις τιμές που ορίζονται ως προτεινόμενες στα σχετικά πρότυπα για την συγκεκριμένη χρήση του χώρου. Η ομοιομορφία της γύρω περιοχής θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,5.(Amsterdam, London, Paris, Diego, & Francisco, n.d.)

Αντίθεση (Contrast, C) είναι ο καθαρός αριθμός που ορίζεται από το πηλίκο:

$$C = \frac{L_1 - L_2}{L_1 + L_2} \quad (11)$$

Όπου:

L_1 : η λαμπρότητα του σώματος στο οποίο αναφερόμαστε

L_2 : η λαμπρότητα του περιβάλλοντος χώρου.

Είναι φανερό ότι η αντίθεση μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές. Αν το περιβάλλον είναι φωτεινό (δηλαδή $L_2 > L_1$), τότε έχουμε αρνητική αντίθεση, ενώ αν το περιβάλλον είναι σκοτεινό (δηλαδή $L_1 > L_2$) έχουμε θετική αντίθεση.

Θάμβωση (Glare, G) δημιουργείται όταν οι συνθήκες ορατότητας είναι τέτοιες ώστε κάποιος να αισθάνεται ενόχληση και μείωση της ικανότητας να διακρίνει αντικείμενα εξαιτίας της μη κατάλληλης κατανομής της λαμπρότητας ή εξαιτίας υπερβολικών αντιθέσεων λαμπρότητας. Η θάμβωση παρουσιάζεται σε τρεις μορφές: την απόλυτη θάμβωση, την ψυχολογική θάμβωση ή θάμβωση ενόχλησης και την φυσιολογική θάμβωση ή θάμβωση ανικανότητας και οφείλεται στην δυσκολία προσαρμογής του αμφιβληστροειδή στις συνθήκες φωτεινότητας.

Ο βαθμός δυσφορίας εξαρτάται εκτός από τη Λαμπρότητα και το μέγεθος της φωτεινής πηγής και από τη θέση της πηγής σε σχέση με τη γραμμή της όρασης του παρατηρητή. (Amsterdam et al., n.d.)

Προτεινόμενες τιμές Φωτομετρικών μεγεθών:

Η βάση πάνω στην οποία μπορούμε να στηριχθούμε για να αξιολογήσουμε την ποιότητα του φωτισμού ενός χώρου είναι τα ισχύοντα για την κάθε χώρα Πρότυπα, οι Κώδικες και οι Τεχνικές Οδηγίες. Ο Κώδικας Φωτισμού της CIBSE και της SLL, παρέχει οδηγίες και όρια που πρέπει να ακολουθούνται ανά κατηγορία χώρου.

Οι παράμετροι που εξετάζονται και για τις οποίες παρέχονται όρια είναι:

- Φωτεινότητα (lux): τα επίπεδα της φωτεινής έντασης που απαιτούνται για συγκεκριμένες δραστηριότητες σε έναν χώρο.
- Περιορισμός και αξιολόγηση της θάμβωσης: βαθμολόγηση δυσφορίας λόγω αντηλιάς που εκφράζεται ως UGR για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. (Για τον υπολογισμό UGR για μια δεδομένη εγκατάσταση, χρησιμοποιώντας Πίνακες)
- Ελάχιστη απόδοση των χρωμάτων: Μία αντικειμενική ένδειξη της απόδοσης των χρωμάτων μιας φωτεινής πηγής είναι ο γενικός δείκτης χρωματικής απόδοσης, R. Η μέγιστη τιμή του είναι 100, και το ποσοστό αυτό μειώνεται με τη μείωση της ποιότητας της χρωματικής απόδοσης.

Λάμπες με δείκτη χρωματικής απόδοσης κάτω από το 80, δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε εσωτερικούς χώρους όπου οι άνθρωποι εργάζονται ή να μένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Παραδείγματα που αφορούν τα πρότυπα φωτισμού σε κάθε χώρο εμφανίζονται στους παρακάτω πίνακες. (Πίνακας 2, Πίνακας 3)

Εκπαιδευτικά κτίρια

	Διατηρούμενη φω- τεινή ένταση (lux)	Αξιολόγηση θάμ- βωσης, R _a	Ελάχιστη απόδοση των χρωμάτων
Αίθουσες διδασκα- λίας/δωμάτια εκμά- θησης	300	19	80
Αίθουσες για απογε- υματινά μαθήματα/ ενηλίκων	500	19	80
Αίθουσα διαλέξεων	500	19	80
Αίθουσες σε καλλι- τεχνικά σχολεία	750	19	90
Αίθουσα πρακτικής και εργαστηρίων	500	19	80
Δωμάτια χειροτεχνί- ας	500	19	80
Δωμάτια μουσικής πρακτικής	300	19	80
Δωμάτια πρακτικής Υπολογιστών	300	19	80
Διάδρομοι	100	25	80
Σκάλες	150	25	80
Αίθουσα γυμναστι- κής/πισίνες	300	22	80

Πίνακας 2: Πρότυπο φωτιστικών συνθηκών για χώρους εκπαίδευσης

Βιβλιοθήκες

	Διατηρούμενη φω- τεινή ένταση (lux)	Αξιολόγηση θάμ- βωσης, R_a	Ελάχιστη απόδοση των χρωμάτων
Δωμάτιο βιβλιοθη- κών	200	19	80
Δωμάτιο ανάγνω- σης	500	19	80

Πίνακας 3: Πρότυπο φωτιστικών συνθηκών για Βιβλιοθήκες

Όμοιοι πίνακες εμφανίζονται για οποιονδήποτε χώρο εκτελείται μία εργασία ή δραστηριότητα (αεροδρόμια, αίθουσες ιατρικής εξέτασης, εργαστήρια και φαρμακεία, βιομηχανίες, χώροι εκθέσεων, καταστήματα, γραφεία κλπ). (Amsterdam et al., n.d.)

1.5 Τεχνητός φωτισμός και Είδη λαμπτήρων

Οι βασικοί τύποι λαμπτήρων που χρησιμοποιούνται σήμερα για τον τεχνητό φωτισμό εσωτερικών και εξωτερικών χώρων, μπορούν να διαχωριστούν στις παρακάτω κατηγορίες:

- Πυρακτώσεως (κοινοί λαμπτήρες)
- Πυρακτώσεως αλογόνου
- Φθορισμού (σωλήνες)
- Συμπαγείς Φθορισμού (οικονομικοί λαμπτήρες)
- Εκκένωσης
- Οπτικές ίνες
- Led (Δίοδοι εκπομπής φωτός)



Εικόνα 11: Είδη Λαμπτήρων

Πηγή: (<http://hlektrologia.gr/>)

1.5.1 Λαμπτήρες πυρακτώσεως:

Η ενεργειακή της απόδοση είναι ιδιαίτερα χαμηλή διότι το 90% της ενέργειας που καταναλώνει μετατρέπεται σε θερμότητα ενώ η μέση διάρκεια ζωής της είναι ένας χρόνος.

Αρχή λειτουργίας: Έχουν μέσα τους ένα λεπτό σπειροειδές σύρμα, το οποίο, όταν την ανάβουμε, αυτό πυρακτώνεται(είναι σαν αντίσταση). Για να μην "καεί" το σύρμα αυτό, και να παραμένει συνέχεια πυρακτωμένο, η λάμπα μέσα της, έχει ένα αέριο που ονομάζεται αργό. Το αέριο αυτό επιτρέπει στο σύρμα αυτό να μείνει πυρακτωμένο (παράγοντας το φως), χωρίς να το καίει.

Έχουν διάρκεια ζωής 1000 ώρες και φωτεινή απόδοση 10-20 lm/W(“Λάμπες φθορίου vs πυρακτώσεως: πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα « Coolweb.gr,” n.d.)

1.5.2 Λαμπτήρες πυρακτώσεως αλογόνου

Οι λαμπτήρες αλογόνου λειτουργούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και έχουν υψηλότερη φωτεινή απόδοση από της λάμπες πυρακτώσεως. Έχουν επίσης πολύ μικρό όγκο και διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

- Λαμπτήρες αλογόνων χαμηλής τάσης (6, 12, 24 V) που λειτουργούν με μετασχηματιστή
- Λαμπτήρες αλογόνων για λειτουργία στα 220-230 V

Έχουν ιδιαίτερη ευαισθησία στις μεταβολές τάσης. Σε περίπτωση που η τάση δικτύου υπερβεί την τάση που δίνει ο κατασκευαστής μειώνεται ακαριαία η διάρκεια ζωής του λαμπτήρα.

1.5.3 Λαμπτήρες φθορισμού

Οι λαμπτήρες φθορισμού εξοικονομούν αρκετή ενέργεια σε σύγκριση με τους παλιούς λαμπτήρες πυρακτώσεως ,σε καμία περίπτωση ωστόσο δεν πλησιάζουν τα ποσοστά (περίπου 95%) εξοικονόμησης ενέργειας και κατ' επέκταση χρημάτων που επιτυγχάνει η τεχνολογία Led.

Αρχή λειτουργίας: Ο γυάλινος θόλος της λάμπας περιέχει φώσφορο και υδράργυρο σε πολύ χαμηλή πίεση. Ηλεκτρικό ρεύμα περνάει μέσω των ηλεκτροδίων στα άκρα του θόλου, το ρεύμα παράγει ένα ρεύμα ηλεκτρονίων. Όταν τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα άτομα του υδράργυρου διεγείρουν τα ηλεκτρόνια των ατόμων σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Τότε ενέργεια απελευθερώνεται με τη μορφή υπεριώδους ακτινοβολίας και παράλληλα τα άτομα του υδράργυρου επανέρχονται σε μηδενική στάθμη ενέργειας. Η υπεριώδης ακτινοβολία διεγείρει τον υπάρχοντα στο θόλο φώσφορο με αποτέλεσμα να βλέπουμε το λευκό φως της λάμπας.

Οι λάμπες φθορίου καταναλώνουν πολύ λιγότερη ενέργεια (εξοικονόμηση ενέργειας), παράγοντας ίδιας έντασης φωτισμό (κέρδος σε βάθος χρόνου).

Αντέχουν αρκετά περισσότερο, σε σχέση με τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Έτσι, ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι τις αντικαθιστούμε πιο σπάνια.

Δεν θερμαίνονται πολύ, συνεπώς μπορούμε να τις τοποθετήσουμε κοντά π.χ. σε ηλεκτρικές συσκευές, που είναι ευαίσθητες σε μεγάλες θερμοκρασίες.

Βέβαια η λάμπες φθορισμού είναι πιο ακριβές από τις πυρακτώσεως αλλά σε βάθος χρόνου γίνεται άμεση απόσβεση. Επίσης όταν πλησιάζουν προς το τέλος τους, τότε αρχίζουν να τρεμοπαίζουν λίγο με αποτέλεσμα να χρειάζονται αντικατάσταση. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρειάζεται ειδικός για την αντικατάσταση τους και τέλος δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση ροοστάτη για τη ρύθμιση της έντασης του φωτός. (“Λάμπες φθορίου vs πυρακτώσεως: πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα «Coolweb.gr,” n.d.)

1.5.4 Συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού

Οι συμπαγείς λαμπτήρες φθορισμού διαφέρουν από τους σωλήνες φθορισμού στο ότι ο σωλήνας έχει περιστραφεί και δεν είναι πια ευθύγραμμος. Με αυτό τον τρόπο, εξασφαλίζεται το μεγάλο μήκος του σωλήνα, αλλά σε πιο συμπαγή μορφή, που εξυπηρετεί μικρότερων διαστάσεων φωτιστικά σώματα και εφαρμογές.

Διατίθενται σε διαφορετικές μορφές, διαστάσεις και χρωματισμούς. Έχουν πέντε φορές μεγαλύτερη απόδοση από τους λαμπτήρες πυρακτώσεως. Έχουν διάρκεια ζωής 6000-8000 ώρες. Αν αντικατασταθούν οι λάμπες πυρακτώσεως με συμπαγείς φθορισμού θα υπάρξει ενεργειακό όφελος όχι μόνο λόγω μειωμένης κατανάλωσης ρεύματος αλλά και λόγω μειωμένης παραγωγής θερμότητας.

1.5.5 Λαμπτήρες εκκένωσης

Η υψηλή απόδοση των λαμπτήρων αυτών καθώς και το μικρό τους μέγεθος τους καθιστούν σημειακές πηγές φωτός. Για τη λειτουργία τους απαιτούνται πυκνωτής, πηνία και εναυστήρας. Διακρίνονται σε είδη:

- Λαμπτήρες ατμών νατρίου υψηλής ή χαμηλής πίεσης για κίτρινο φως
- Λαμπτήρες ατμών υδραργύρου για λευκό φως
- Λαμπτήρες αλογόνου- μετάλλου με χρωματική απόδοση για εσωτερικούς χώρους
- Λαμπτήρες κεραμικού καυστήρα

1.5.6 Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες εισάγουν ακτίνες φωτός στο ένα άκρο τους και τη μεταφέρουν στο άλλο άκρο χωρίς απώλεια ενέργειας. Κατασκευάζονται από αγωγούς γυαλιού, πυριτίου ή ειδικές πλαστικές ύλες, είναι προστατευμένες από επίστρωση (PVC) και οδηγούν το φως σε κατεύθυνση ευθεία, καμπύλη ή τεθλασμένη.

Καλύπτουν τις ανάγκες φωτισμού χωρίς κανένα κίνδυνο πρόκλησης πυρκαγιάς, προσφέροντας υψηλές φωτεινές αποδόσεις.

Έχουν χαμηλό κόστος λειτουργίας αλλά μεγάλο κόστος εγκατάστασης και παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της έντασης και του χρωματισμού.(“Ηλιασμός.pdf,” n.d.)

1.5.7 Λαμπτήρες LED

Οι λαμπτήρες Led μπορούν να εξασφαλίσουν έως και 95% χαμηλότερη κατανάλωση, με μέση διάρκεια ζωής πάνω από 50000 ώρες, εξοικονομώντας έτσι ενέργεια και κατά συνέπεια χρήμα.

Το LED εφευρέθηκε στη Ρωσία τη δεκαετία του 1920 από τον Oleg Vladimirovich Losev ο οποίος παρατήρησε ότι οι δίοδοι που χρησιμοποιούσαν οι ραδιοφωνικοί δέκτες παρήγαγαν φως όταν διαπερνούνται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Αρχή λειτουργίας

Η εξωτερική απόδοση ενός LED είναι μέτρο απόδοσης της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε εκπεμπόμενη εξωτερικά φωτεινή ενέργεια. Στο μέγεθος αυτό συνυπολογίζεται η εσωτερική απόδοση της ακτινοβολούσας διαδικασίας επανασύνδεσης και η επακόλουθη απόδοση της εξόδου φωτονίων από τη διάταξη. Η ηλεκτρική ενέργεια στην είσοδο ενός LED ισούται με το γινόμενο του ρεύματος επί την τάση της διόδου($I \times V$)

Πλεονεκτήματα των LED:

- Παράγουν περισσότερο φως ανά μονάδα ισχύος (lm/watt) συγκριτικά με της λάμπες πυράκτωσης
- Εκπέμπουν φως συγκεκριμένου χρώματος χωρίς χρήση φίλτρων που απαιτούν οι παραδοσιακοί μέθοδοι φωτισμού
- Έχουν μεγάλοι διάρκεια ζωής όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (35000-50000hr)
- Δύσκολα παθαίνουν ζημιές από κραδασμούς σε αντίθεση με της λάμπες πυρακτώσεως και φθορισμού.
- Μπορούν να εστιάζουν το φως σε ένα συγκεκριμένο σημείο ή περιοχή.
- Δεν περιέχουν υδράργυρο όπως οι λάμπες φθορισμού. (μηδενική τοξικότητα)(“Λαμπτήρες Led,” n.d.).

Ο ακόλουθος πίνακας (Πίνακας 4) συνοψίζει τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βασικών υπαρχόντων λαμπτήρων.

	LED	A	QT (12 V)	QT	TC	T	HIT	HST
Lamp power P (W)	2-96	100	50-100	120-400	9-55	28-54	20-400	50-100
Luminous flux (lm)	160-12000	1380	1250-2200	2300-9000	600-4800	2600-4450	1800-35000	2400-4900
Luminous efficacy max. (lm/W)	125	15	22	22	78	92	114	50
Light colour	various	www	www	www	www, nww, dww	www, nww, dww	www, nww	www
Colour temperature TF (K)	1700-10000	2700	3000	3000	2700-6500	2700-6500	3000-4200	2550
Colour rendition index Ra	1a	1a	1a	1a	1b	1b	1a	1b
Colour rendition index Ra	80-90	100	100	100	80-82	89	81-90	83
Service life t(h)	50000	1000	4000	2000	12000-13000	20000	5000-15000	10000
Dimming behaviour	+	+	+	+	+	+	-	-
Brilliance	+	+	+	+	-	-	+	+
Start-up behaviour	+	+	+	+	+	+	-	-

Πίνακας 4: Τεχνικά χαρακτηριστικά λαμπτήρων

(πηγή: <http://www.erco.com/guide/lighting-technology/lamps-general-1606/en/>)

A: Πυράκτωσης

QT: λαμπτήρας αλογόνου

TC: συμπαγής λαμπτήρας φθορισμού

T: λαμπτήρας φθορισμού

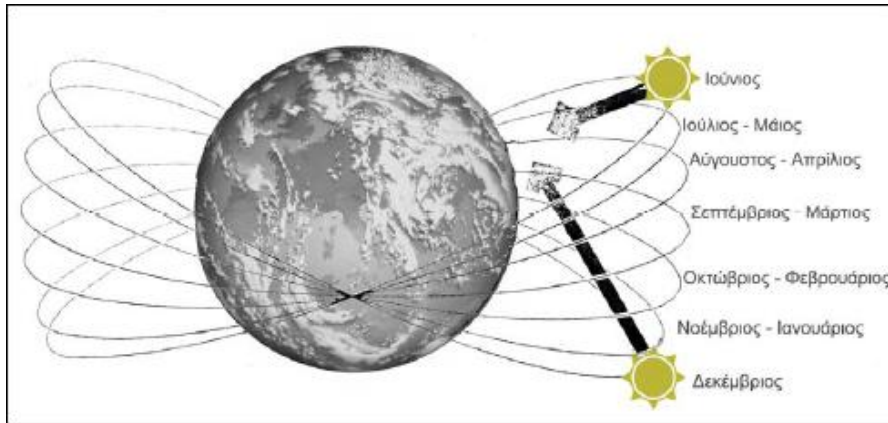
HIT: Λαμπτήρες μεταλλικών ατμών("ERCO - Discovering light - Lighting technology - Lamps, general," n.d.)

1.6 Φυσικός φωτισμός και ήλιος

1.6.1 Κίνηση του ήλιου.

Προκειμένου να προσδιοριστεί ο ηλιασμός ενός σημείου στην επιφάνεια της γης, προβαίνουμε στην παραδοχή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, δηλαδή θεωρούμε ότι η Γη παραμένει σταθερή, ενώ ο ήλιος κινείται. Αυτή η παραδοχή διευκολύνει στη γεωμετρική απεικόνιση των φαινόμενων τροχιών του ήλιου, οι οποίες ακολουθούν μία μεγάλη συνεχή σπείρα.

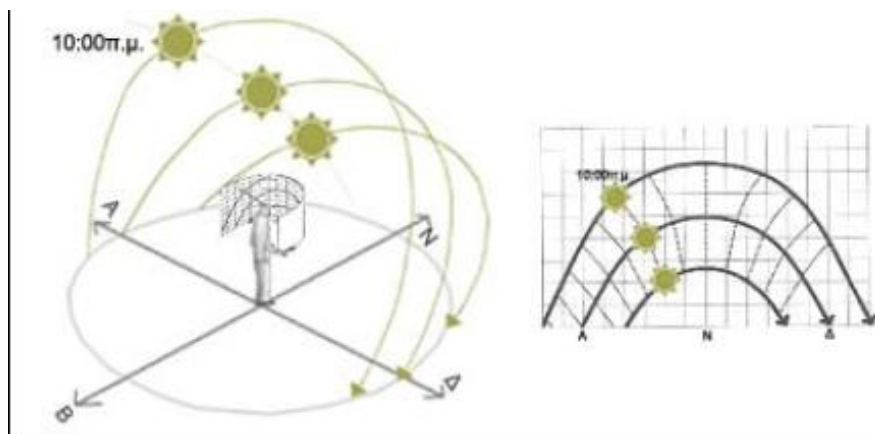
Οι φαινόμενες τροχιές του ήλιου ταυτίζονται ανά δύο μήνες εκτός των 4 Δεκεμβρίου και 17 Ιουνίου. Ο μήνας Δεκέμβριος έχει τη χαμηλότερη τροχιά ενώ ο Ιούνιος την υψηλότερη. (Εικόνα 12)



Εικόνα 12: Σχηματική αναπαράσταση των φαινόμενων τροχιών του ήλιου.
Πηγή: (<https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/2-eliasmos-ktiriou>)

Η θέση του ήλιου στον ουρανό προσδιορίζεται από τη στερεά γωνία, η οποία αναλύεται σε δύο επίπεδες γωνίες: τη γωνία ύψους(γωνία x) που ορίζεται από τη θέση του ήλιου στον ουρανό ως προς το οριζόντιο επίπεδο και τη γωνία του αζιμούθιου(γωνία y), η οποία ορίζεται από την ορθή προβολή της θέσης του ήλιου στο οριζόντιο επίπεδο, σε σχέση με την πραγματική κατεύθυνση του Νότου. Οι γωνίες του ήλιου μπορούν να προσδιοριστούν αναλυτικά ή γραφικά.

Ηλιακοί χάρτες ονομάζονται τα διαγράμματα που απεικονίζουν τις φαινόμενες τροχιές του ήλιου στο επίπεδο ορθής προβολής, για συγκεκριμένο γεωγραφικό πλάτος.(Εικόνα 13)



Εικόνα 13:Οι γωνίες ύψους και αζιμούθιου ορίζουν τη θέση του ήλιου/ Ορθή προβολή των φαινόμενων τροχιών του ήλιου στον χάρτη.

Πηγή: (<https://sites.google.com/site/wildwaterwall/eliaka-spitia/2-eliasmos-ktiriou>)

1.6.2 Φυσικό φως και κτίρια

Κατά τον σχεδιασμό κτιρίων απαιτείται η εξασφάλιση επαρκούς φυσικού φωτισμού και ελέγχου της φωτεινής ακτινοβολίας ώστε να υπάρχει επάρκεια και ομαλή κατανομή του φωτός μέσα στους χώρους. Ένα σωστά σχεδιασμένο σύστημα φυσικού φω-

τισμού μπορεί να μειώσει δραστικά την άσκοπη χρήση τεχνητού φωτισμού κατά τη διάρκεια της ημέρας, εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας.

Ο φυσικός φωτισμός είναι αποδεδειγμένο ότι επηρεάζει την ανθρώπινη συμπεριφορά με άμεσους αλλά και έμμεσους τρόπους, δηλαδή όχι μόνο εξασφαλίζει οπτική άνεση, αλλά δημιουργεί ευχάριστο και ανθρώπινο εσωτερικό περιβάλλον καθώς προσδιορίζει τον κύκλο της ημέρας και των εποχών. Επίσης σε βιολογικό επίπεδο διεγείρει τις ορμόνες που ρυθμίζουν τα συστήματα του σώματος και τη διάθεση των χρηστών. Στόχος είναι η εκμετάλλευση του φυσικού φωτός ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής και κατάλληλος φωτισμός στο εσωτερικό των κτιρίων προκειμένου να επιτελεστούν οι λειτουργίες που η κατασκευή είναι προορισμένη να φιλοξενήσει. Επιβάλλεται ο σχεδιασμός των απαραίτητων ανοιγμάτων επί του περιβλήματος τα οποία μπορεί να δημιουργηθούν είτε στους τοίχους, τις στέγες και οροφές των κτηρίων και να έχουν τη μορφή θυρών, παραθύρων, φεγγιτών κλπ. αποτελούμενων από διαφανείς ή ημιδιαφανείς επιφάνειες, υαλοπίνακες (απλοί ή χαμηλής εκπομπής), υαλότουβλα, πολυκαρβονικά φύλλα ή άλλα υλικά ανάλογα με τη λειτουργία που καλούνται να επιτελέσουν, την αισθητική του κτιρίου και τον προϋπολογισμό κατασκευής του. (“ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ,” n.d.)

Άμεσο και διάχυτο ηλιακό φως

Στο σημείο αυτό είναι αναγκαίο να διαχωριστεί το ηλιακό φως/άμεση ηλιακή ακτινοβολία - που εισέρχεται στους χώρους των κτιρίων (συχνά χωρίς να έχει προηγηθεί μελέτη ανοιγμάτων) και στο φυσικό φως που είναι επιθυμητό και λειτουργικό. Τα δύο αυτά είδη φωτός συναντώνται ως sunlight (άμεσο ηλιακό φως), και ως daylight (διάχυτο φυσικό φως).

Το άμεσο ηλιακό φως κατά την είσοδό του στα κτίρια επιφέρει προβλήματα θάμβωσης και υπερθέρμανσης των χώρων. Γενικά, σε θερμά κλίματα, η είσοδος της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας θα πρέπει να αποφεύγεται με το σωστό αρχιτεκτονικό σχεδιασμό και τη σκίαση των ανοιγμάτων.

Αντίθετα, σε χώρους όπου απαιτείται συγκέντρωση και προσοχή (όπως χώρους εργασίας), ορθό είναι να επιδιώκεται περισσότερο ήπιος, ομοιόμορφος, διάχυτος φωτισμός. Ομοιογενής και επαρκής φωτισμός επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, όπως με τη χρήση προβόλων, σκιάστρων, περσίδων, φωτιστικών ραφιών, και άλλων μέσων σκίασης που είτε διαχέουν το ηλιακό φως, είτε εμποδίζουν την άμεση είσοδο του στο εσωτερικό των χώρων.

1.6.3 Παράγοντες σχεδιασμού του φυσικού φωτισμού

Ο φυσικός φωτισμός στα κτίρια μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να εξασφαλισθεί ένα βασικό επίπεδο φωτισμού σε όλη την έκταση ενός χώρου. Ιδανικά, ο τεχνητός φωτισμός θα μπορούσε να χρησιμοποιείται επιπρόσθετα για συγκεκριμένες εργασίες που απαιτούν εντονότερα επίπεδα φωτισμού. Επίσης όταν το σχήμα του δωματίου προκαλεί την άνιση κατανομή του φωτός της ημέρας, το συμπληρωματικό ηλεκτρικό φως

εξακολουθεί να είναι απαραίτητο. Αν χρησιμοποιηθεί τεχνητό φως σε έναν χώρο κατά τη διάρκεια της ημέρας, ο φυσικός φωτισμός θα είναι αισθητός μόνο στις επιφάνειες του δωματίου που βρίσκονται ακριβώς δίπλα στα παράθυρα, αν και τα παράθυρα μπορούν να εξακολουθούν να παρέχουν επαρκή ποσότητα φωτός για τους επιβαίνοντες στο δωμάτιο. Τα Πρότυπα για το φυσικό φωτισμό στα κτίρια αναφέρουν πως ο μέσος Συντελεστής Φυσικού Φωτός (Daylight Factor-%) δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 5%.

Όταν το φως της ημέρας και μόνο παρέχει το φωτισμό για την εργασία που πρέπει να πραγματοποιηθεί, η φωτεινή ένταση δεν πρέπει να πέσει κάτω από εκείνη που παρέχεται από τα πρότυπα που έχουν τεθεί για την λειτουργία του συγκεκριμένου χώρου.

Οι βασικοί στόχοι που θα πρέπει να εξασφαλίζονται κατά το σχεδιασμό του φυσικού φωτισμού κτιρίων, είναι:

- Αποφυγή της άμεσης εισόδου των ηλιακών ακτινών στους χώρους στοχεύει στη μεγιστοποίηση της χρήσης του απαλού, διάχυτου φυσικού φωτός και στον περιορισμό της άμεσης εισόδου των ηλιακών ακτινών.
- Εξασφάλιση απαλού, ομοιόμορφου φωτός σε όλο το χώρο.
- Αποφυγή του φαινομένου της θάμβωσης. Το φαινόμενο αυτό προκαλείται όταν υπάρχουν υπερβολικά υψηλές αντιθέσεις στα επίπεδα φωτισμού των επιφανειών (άμεση θάμβωση) ή όταν το φως αντανακλάται σε μια γυαλιστερή επιφάνεια (θάμβωση από αντανάκλαση). Άμεση θάμβωση δημιουργείται υπό την παρουσία μιας πολύ λαμπρότερης επιφάνειας σε σχέση με τις γειτονικές, μέσα στο οπτικό πεδίο του χρήστη (μπορεί να προκαλέσει ενόχληση, ακόμα και πρόσκαιρη απώλεια όρασης). Αντιμετώπιση του φαινομένου αυτού γίνεται με χρήση περσίδων, σκίαστρων, κουρτινών (ηλιοπροστασία) ή τοποθέτηση ανοιχτόχρωμων ανακλαστικών επιφανειών κοντά σε φωτιστικά ανοίγματα (π.χ. φωτιστικά ράφια ή χρήση ανακλαστικών επιφανειών στις οροφές) βοηθά στη διάχυση του φωτός και στην εξομάλυνση των αντιθέσεων στα επίπεδα φωτισμού τους.
- Σχεδιασμός του συστήματος ηλεκτροφωτισμού έτσι ώστε να λειτουργεί συμπληρωματικά ως προς το φυσικό φως.

Ανάλογα με τη θέση των ανοιγμάτων στο περίβλημα των κτιρίων θα μπορούσε να διακρίνει κανείς δύο τύπους φωτισμού: το φωτισμό από ψηλά (φεγγίτες οροφής) και 2. το φωτισμό από το πλάι (παράθυρα-φεγγίτες, ράφια φωτισμού). (‘‘Γενική διεύθυνση έργων διεύθυνση μελετών συμβατικών έργων,’’ 2008)

Ακολούθως παρατίθενται οι περιγραφές και οι βασικές ιδιότητες των κυρίαρχων συστημάτων φυσικού φωτισμού κτιρίων.

1.6.3.1 Πλευρικά ανοίγματα και είδη υαλοστασίων

Πλευρικά ανοίγματα αποτελούν τα παράθυρα ή οι υαλόθυρες. Η είσοδος του φυσικού φωτός από αυτά εξαρτάται από τον τύπο του υαλοστασίου που διαθέτουν αλλά και το πλαίσιο και το ποσοστό επί του συνολικού ανοίγματος που καταλαμβάνει το

πλαίσιο. Πολλές κατηγορίες υαλοστασίων είναι εμπορικά διαθέσιμες, με σημαντικές διαφορές μεταξύ των χαρακτηριστικών τους που σχετίζονται με τη διέλευση του φυσικού φωτός.

Βασικές κατηγορίες υαλοστασίων που εφαρμόζονται σε κατακόρυφα ανοίγματα είναι:

- **Μονά υαλοστάσια.** Είναι το πιο κοινό είδος υαλοστασίου, που βρίσκεται πλέον σε παλαιότερες κατασκευές. Το πάχος τους ξεκινά από 4mm, έως 12 mm. Τα τζάμια με πάχος από 4mm έως 6mm χρησιμοποιούνται σε κουφώματα που προορίζονται κυρίως για χώρο μη κατοικήσιμους χωρίς θέρμανση ή ψύξη. Δίνουν φωτο-διαπερατότητες της τάξης του 90%.
- **Διπλά υαλοστάσια:** Τα διπλά τζάμια είναι το αποτέλεσμα της συνένωσης με την χρήση αποστάτη δυο μονών παράλληλων τζαμιών(Εικόνα 15). Έτσι με βάση το πάχος του αποστάτη δημιουργείται ένα κενό μεταξύ των δυο τζαμιών που ως συνήθως περιέχει ξηρό αέρα. Το πάχος του αποστάτη μπορεί να είναι 6mm, 8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm.. Ο αποστάτης είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο, η τομή του έχει σχήμα τετράγωνο και το εσωτερικό του γεμίζει με πυριτικά άλατα για την απορρόφηση της υγρασίας.
Εκτός από την χρήση μονών συμβατικών τζαμιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφοροι συνδυασμοί.

Μερικά παραδείγματα αυτών των συνδυασμών είναι τα εξής:

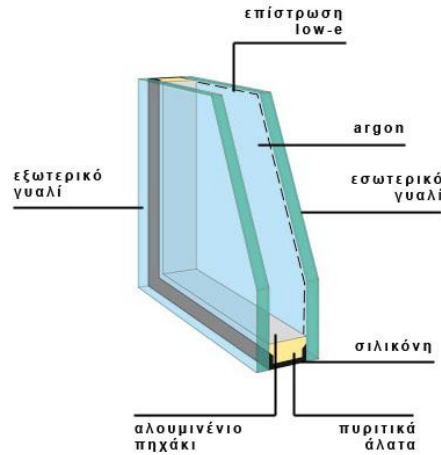
- ✓ Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Ενεργειακό
 - ✓ Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Τρίπλεξ
 - ✓ Μονό Ενεργειακό / Αποστάτης / Τρίπλεξ
- **Τριπλά υαλοστάσια** Τα τριπλά τζάμια είναι η επέκταση των διπλών τζαμιών. Ένα τριπλό τζάμι είναι η συνένωση τριών τζαμιών με την χρήση δύο αποστατών. Στη περίπτωση αυτή οι συνδυασμοί τζαμιών είναι περισσότεροι.
Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:
- ✓ Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Συμβατικό
 - ✓ Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Τρίπλεξ
 - ✓ Μονό Ενεργειακό / Αποστάτης / Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Τρίπλεξ
 - ✓ Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Ενεργειακό
 - ✓ Μονό Ενεργειακό / Αποστάτης / Μονό Συμβατικό / Αποστάτης / Μονό Ενεργειακό (Εικόνα 14)(“Τύποι Υαλοπινάκων,” n.d.)

Triplex ή αλλιώς laminated τζάμια είναι οι υαλοπίνακες οι οποίοι δημιουργούνται από την συνένωση 2 ή περισσότερων γυαλιών με διάφανη ή έγχρωμη ζελατινή-μεμβράνη.(“Triplex υαλοπίνακες | Glass and Metal,” n.d.)



Εικόνα 14: Τριπλό τζάμι

Πηγή: (<http://glassandmetal.gr/gyalia-krystalla/riplex>)



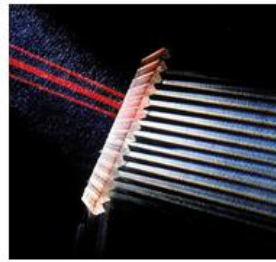
Εικόνα 15: Διπλοί υαλοπίνακες

Πηγή: (<http://glassandmetal.gr/gyalia-krystalla/diploi-yalopinakes/>)



Εικόνα 16: Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες

Πηγή: (http://www.energia.gr/article.asp?art_id=50991)



Εικόνα 17: Πρισματικοί υαλοπίνακες

Πηγή: (http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_prismatika.htm)



Τα τριπλά τζάμια έχουν καλύτερα αποτελέσματα θερμομόνωσης και ηχομόνωσης σε σχέση με τα διπλά.

- **Πρισματικά υαλοστάσια:** Οι πρισματικοί υαλοπίνακες εκτρέπουν τις ακτίνες που προέρχονται από τις περισσότερες κατευθύνσεις. Ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας εισέρχεται στον χώρο και ένα άλλο ανακλάται προς τα έξω. Αυτού του τύπου οι υαλοπίνακες προστατεύουν από τον ήλιο και παράλληλα ισοκατανέμουν το φως στο χώρο. (Εικόνα 17)
- **Φωτοχρωμικοί:** Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με το ποσό της προσπίπτουσας σε αυτούς ηλιακής ακτινοβολίας. Η φωτοδιαπερατότητά τους μειώνεται με την αύξηση της έντασης της φωτεινής ακτινοβολίας.
- **Θερμοχρωμικά υαλοστάσια:** Είναι υαλοπίνακες των οποίων οι οπτικές ιδιότητες μεταβάλλονται ανάλογα με την εξωτερική θερμοκρασία. Με την αύξηση της

θερμοκρασίας μεταβάλλονται από διαφανείς σε γαλακτόχρωμοι. (• (Κέντρο ανανεώσιμων Πηγών, Θερμική Προστασία Κελύφους, Χρήση υαλοπινάκων, http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/thermiki_prostasia_kelyfous_xrisi_yalopinakon.htm), n.d.)

- **Φωτοβολταϊκά υαλοστάσια:** Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στους υαλοπίνακες τοποθετούνται στο εσωτερικό τους σε διπλά ή τριπλά τζάμια ή στην επιφάνεια του τζαμιού. Ανάλογα με τη διαφάνεια που επιθυμούμε, αλλάζει και η απόδοση όσο μικρότερη είναι η διαφάνεια, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση.

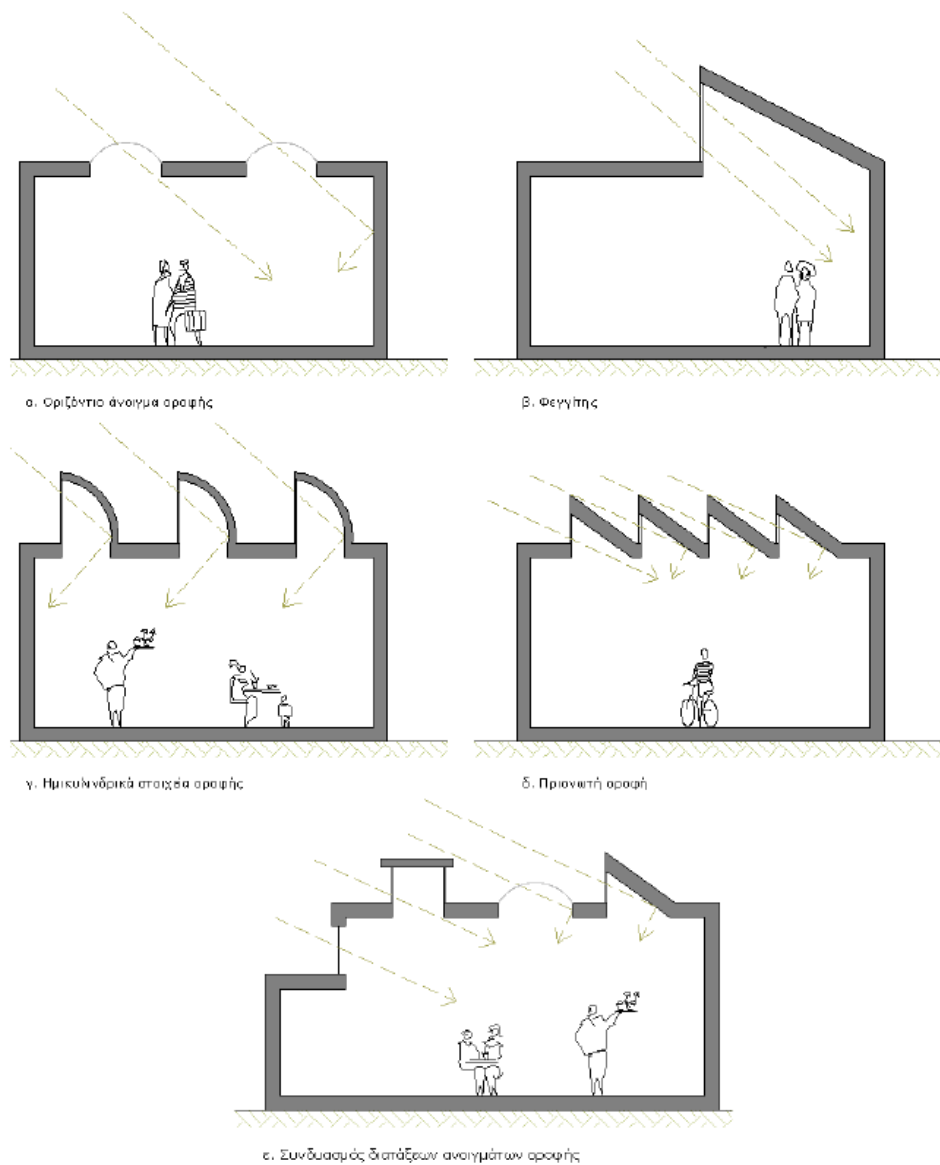
Έχουν τη δυνατότητα λειτουργίας υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες ακόμα και σε περιπτώσεις συννεφιάς. Είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά πάχη, μεγέθη και χρώματα.

Κατηγορίες φωτοβολταϊκών υαλοστασίων:

- ✓ **Ημιδιαφανές φωτοβολταϊκό γυαλί:** κατασκευάζεται από ένα γυαλί στο οποίο τοποθετούνται φωτοβολταϊκές κυψέλες αλλάζοντας τη φωτοδιαπερατότητά του.
- ✓ **Φωτοβολταϊκά thin films πάνω σε γυαλί:** Τα φωτοβολταϊκά film αυτά τοποθετούνται στη μία πλευρά του γυαλιού σε αρκετές στρώσεις.
- ✓ **Φωτοβολταϊκό υαλοστάσιο με μόνωση:** κατασκευάζονται με την εισαγωγή κυψέλων στο εσωτερικό των διπλών ή τριπλών υαλοστασίων τα οποία όπως αναφέρθηκε παραπάνω παρέχουν μόνωση στο κτίριο.

Οι φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάρα πολλές εφαρμογές από κτίρια γραφείων, κατοικίες μέχρι και θερμοκήπια ή μεγάλους δημόσιους χώρους. (“Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες,” n.d.)

1.6.3.2 Ανοίγματα οροφής

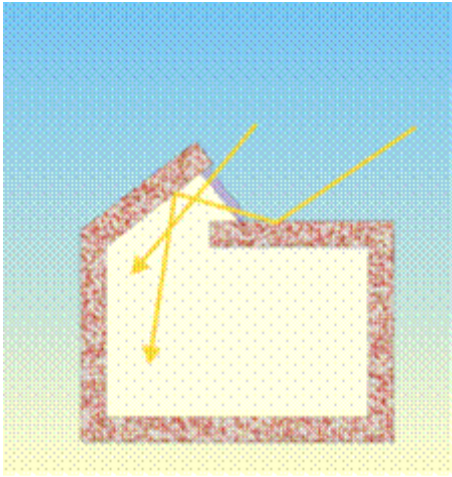


Εικόνα 18: Ενδεικτικά ανοίγματα οροφής και συμπεριφορά των ακτίνων του φωτός
Πηγή: (http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_anoigmata_orofis.htm)

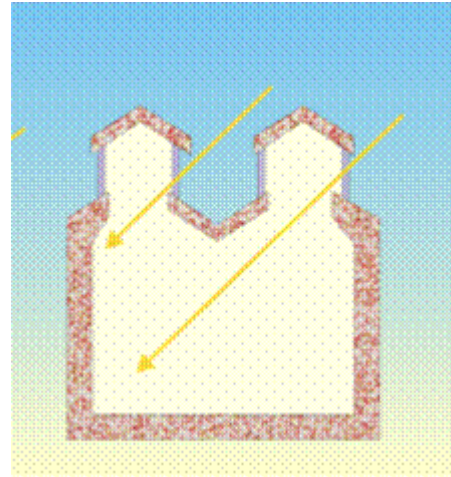
Τα ανοίγματα οροφής (Εικόνα 18) αποτελούν ειδική κατηγορία συστημάτων φυσικού φωτισμού, καθώς υπερέχουν των ανοιγμάτων στην τοιχοποιία, λόγω του ότι συνήθως το φως φτάνει σε αυτά συναντά λιγότερα εμπόδια. Παρέχουν μεγάλη ποσότητα διάχυτου φωτός μέσω του ουράνιου θόλου και συντελούν στην ομοιόμορφη κατανομή του φυσικού φωτός που εισέρχεται στον χώρο.

Τα ανοίγματα οροφής φέρουν διαφανείς ή ημιδιαφανείς (διαχυτικούς) υαλοπίνακες και συνήθως ένα σύστημα ηλιοπροστασίας- εκτροπής του άμεσου φωτός (ανακλαστήρες, περσίδες, κινητά πετάσματα). Τα συστήματα αυτά ανάλογα με τον τύπο του ανοίγματος μπορεί να είναι εσωτερικά ή εξωτερικά.

Τα οριζόντια ανοίγματα οροφής έχουν το μειονέκτημα, λόγω της θέσης του ήλιου το καλοκαίρι να δέχονται μεγαλύτερη ηλιακή πρόσπτωση από ότι το χειμώνα και για το λόγω αυτού συνιστώνται κατακόρυφα(Εικόνα 20) ή κεκλιμένα ανοίγματα(Εικόνα 19) στην οροφή και συνδυάζονται με διατάξεις σκιασμού.(“Φυσικός Φωτισμός,” n.d.)



Εικόνα 19: Κεκλιμένο άνοιγμα στην οροφή κτιρίου



Εικόνα 20: Κατακόρυφα ανοίγματα στην οροφή κτιρίου



Εικόνα 21: Χώρος φωτιζόμενος από ανοίγματα στην οροφή του κτιρίου

Πηγή:(http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_anoigmata_orofis.htm)

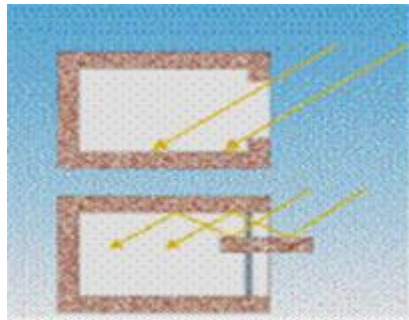
1.6.3.3 Πρωτοποριακές τεχνολογίες φυσικού φωτισμού

Ράφια φωτισμού

Τα ράφια φωτισμού είναι επίπεδα ή καμπύλα σταθερά στοιχεία, με ανακλαστική επιφάνεια, που στερεώνονται στα πλαίσια των ανοιγμάτων και κατευθύνουν την προσ-

πίπτουσα ακτινοβολία προς τις εσωτερικές επιφάνειες του κτιρίου(Εικόνα 22). Εξασφαλίζουν ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού, αυξάνοντας τη στάθμη του φωτισμού σε απομακρυσμένες από τα παράθυρα ζώνες, μειώνοντας παράλληλα τη στάθμη φωτισμού στη ζώνη των παραθύρων.

Για την αποτελεσματική λειτουργία τους απαιτείται υψηλή ανακλαστικότητα της οροφής του χώρου. Η χρήση τους είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική σε εργασιακούς χώρους, όπου απαιτείται ομοιόμορφη κατανομή του φωτισμού. (“Φυσικός Φωτισμός,” n.d.)



Εικόνα 22: Είσοδος ηλιακής ακτινοβολίας με και χωρίς ράφι φωτισμού

Πηγή:(http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_rafia_fotismou.htm)

Φωτοσωλήνες

Οι φωτοσωλήνες, όπως και τα ράφια φωτισμού, θεωρούνται «πρωτοποριακά» συστήματα φυσικού φωτισμού, έστω και αν είναι ευρέως διαδεδομένα εδώ και μερικές δεκαετίες. Θα εξεταστούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια, λόγω του ότι αποτελούν το βασικό σύστημα που εξετάζεται στην εργασία αυτή.

Οι φωτοσωλήνες αποτελούν εξελιγμένα συστήματα ημερήσιου φυσικού φωτισμού και συνιστούν χρήσιμα συστήματα εξοικονόμησης **ενέργειας** (αφού εξοικονομούν έως και 100% **ηλεκτρική ενέργεια**).

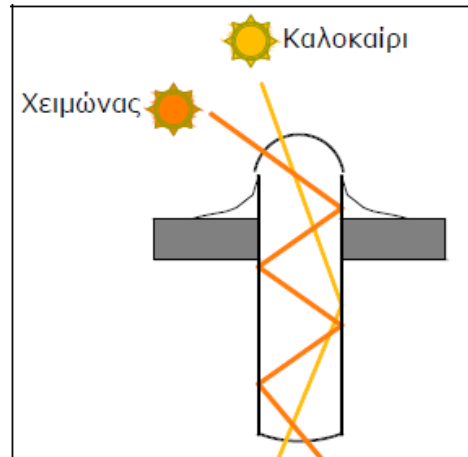
Η χρήση φωτοσωλήνων για την επίλυση των τεχνικών προβλημάτων που προκύπτουν από την έλλειψη φυσικού φωτισμού σε χώρους κατοικιών, εργασιακούς χώρους και κυρίως σε βιομηχανικά κτίρια αποτελεί νέα τεχνολογία που συνάδει απόλυτα με τις αρχές του βιοκλιματικού σχεδιασμού. Επιτρέπουν λοιπόν, τον επαρκή φυσικό φωτισμό σκοτεινών δωματίων, βιομηχανικών κτιρίων και υπογείων εξοικονομώντας ηλεκτρική ενέργεια και χωρίς να μεταφέρουν καθόλου θερμότητα στο εσωτερικό.(“Τεχνικά Χαρακτηριστικά φωτοσωλήνων,” n.d.)

Πρόκειται για σωλήνες, επιστρωμένους εσωτερικά με υλικό μεγάλης ανακλαστικότητας που φέρει διαφανή καλύμματα στα δύο άκρα του. Συνήθως οι διαστάσεις τους είναι μικρές. Ένας φωτοσωλήνας μπορεί να είναι ενιαίος κατακόρυφος ή να αποτελείται από τμήματα υπό κλίση (Εικόνα 23).

Η απόδοσή του εξαρτάται από την ένταση φωτισμού στο επίπεδο του εξωτερικού θόλου, το ύψος του ήλιου (εποχιακή διακύμανση), την ανακλαστικότητα του υλικού στο εσωτερικό του σωλήνα, την ύπαρξη ή όχι γωνιών στο φωτοσωλήνα και από το λόγο του μήκους του προς τη διάμετρό του. Για αυξημένη απόδοση το μήκος του δε θα πρέπει να υπερβαίνει τα 10μ., δεδομένου ότι όσο αυξάνει το μήκος, μειώνεται σημαντικά η ένταση του φωτισμού.



Εικόνα 23: Φωτοσωλήνας τοποθετημένος υπό κλίση



Εικόνα 24: Συμπεριφορά ακτίνων ηλίου το καλοκαίρι και το χειμώνα

Πηγή: (http://www.tsialos.gr/userfiles/documents/brochures/br_12page_solartubes.pdf)

Τα βασικά μέρη των φωτοσωλήνων.

Ο εξωτερικός θόλος (από plexiglass) ο οποίος εφαρμόζεται σε διαφορετικές στεγανοποιητικές βάσεις ανάλογα με την ύπαρξη δώματος, στέγης ή μεταλλικού στεγάστρου.

Εσωτερικά βρίσκεται το κάτοπτρο, είναι ένα προαιρετικό στοιχείο, το οποίο κατάλληλα προσανατολισμένο, συνήθως νοτιοανατολικά για μέγιστη απόδοση στην Ελλάδα, καταφέρνει να παγιδεύει τις ηλιακές ακτίνες. Η εξαιρετική του απόδοση οφείλεται στους πρισματικούς φακούς, οι οποίοι αντανακλούν τις ακτίνες του ήλιου που φτάνουν απευθείας στην επιφάνεια του αλλά και εκείνες που προέρχονται από έμμεσες αντανακλάσεις από όλα τα σημεία του ορίζοντα. Συνήθως δεν εφαρμόζεται καθώς μειώνει αισθητά το φως κατά τη διάρκεια νεφοσκεπών ημερών.

Η μεταφορά του φωτός μετά από μια απλή ή περισσότερο περίπλοκη διαδρομή πραγματοποιείται από φωτοσωλήνες διαμέτρου από 250-650 mm. Οι σωλήνες αυτοί, κατασκευάζονται από τεχνολογικά προηγμένα υλικά αλουμινίου, εξαιρετικά υψηλής αντανάκλασης.

Η τελική δίοδος του φωτός στον εσωτερικό χώρο γίνεται μέσω απολήξεων (diffusers). Οι απολήξεις είναι διατομής κυκλικής ή τετραγωνικής ανάλογα με την

μελέτη φωτισμού, που προηγείται κάθε εγκατάστασης, αλλά και με τις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις.

Αρχή λειτουργίας των φωτοσωλήνων

Το φως που προέρχεται από τον ήλιο και αυτό που διαχέεται από τον αέρα και τα σύννεφα φτάνει στο εσωτερικό του σωλήνα. Δε διασχίζει απλώς το θόλο αλλά συνεχώς ανακλάται στα τοιχώματα του φωτοσωλήνα.

Το φως έρχεται από την ανατολή τις πρωινές ώρες, από τον νότο τις μεσημεριανές και από τη δύση το απόγευμα. Το φως που διαχέεται από τον βορρά διασχίζει το σωλήνα αλλάζοντας προσανατολισμό, ακολουθώντας την αρχή της διάθλασης και αποκτώντας ευνοϊκότερη γωνία πρόσπτωσης. Στη συνέχεια οι φωτεινές ακτίνες ανακλώμενες στα τοιχώματα του σωλήνα καταλήγουν να φωτίζουν μέσω της απόληξης τον χώρο.

Είδη σωλήνων φωτισμού

Οι φωτοσωλήνες μπορούν να διαχωριστούν με βάση το σχήμα τους και με βάση την τεχνολογία με την οποία λειτουργούν.

Διαχωρίζονται σε φωτοσωλήνες χωρίς γωνίες (straight light pipes) και σε φωτοσωλήνες με γωνίες/καμπύλες (pipes with elbows) λόγω των γωνιών που μπορεί να σχηματίζει ο σωλήνας, καθώς επίσης σε φωτοσωλήνες που χρησιμοποιούν μόνο το φυσικό φως και άλλοι που έχουν ενσωματωμένο τεχνητό φωτισμό ή συστήματα εξαερισμού. (“Green Diary - Green Revolution Guide by Dr Prem,” n.d.)

Φωτοσωλήνες με ενσωματωμένο τεχνητό φως και κριτική τους.

Πλεονεκτήματα

- Αύξηση της παραγωγικότητας: δημιουργεί αίσθημα ευεξίας, δεν προκαλεί κόπωση στα μάτια και πονοκεφάλους λόγω συνεχούς έκθεσης σε τεχνητό φως ή άμεση επαφή με την ηλιακή ακτινοβολία.
- Εξοικονόμηση ενέργειας: οι φωτοσωλήνες παραμένουν αποδοτικοί μέχρι τις πρώτες απογευματινές ώρες ανεξάρτητα από την ηλιοφάνεια.
- Μεταφορά ελάχιστων ποσοτήτων θερμότητας στο εσωτερικό των χώρων: ουσιαστικά διαμέσου των φωτοσωλήνων μεταφέρεται το ορατό μέρος του φάσματος του φωτός. Αυτό συνεπάγεται την απόκλιση μεταφοράς των υπεριωδών και υπέρυθρων ακτινοβολιών και της θερμότητας. Επίσης λόγω της κατασκευής τους και του τρόπου τοποθέτησης τους δεν επιτρέπουν σοβαρές απώλειες θερμότητας από εξωτερικούς παράγοντες όπως τα παράθυρα.
- Εύκολη εγκατάσταση, μικρό κόστος λειτουργίας και συντήρησης. Απόσβεση σε περίπου 1.5 χρόνο.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις: αποτελεί ένα από τα φιλικότερα προς το περιβάλλον μέσα φωτισμού, δεν αφήνει βλαβερά κατάλοιπα όπως για παράδειγμα οι λάμπες φθορισμού τον υδράργυρο. Λόγω του περιορισμού στη χρήση συμβατικών καυ-

σίμων και ηλεκτρισμού, συνεπώς τη μείωση των εκλυόμενων ρύπων στην ατμόσφαιρα.

Μειονεκτήματα

- Μεγάλο κόστος εγκατάστασης και αγοράς εξοπλισμού
- Αποθηκευσιμότητα: δεν υπάρχει δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας για χρήση της σε ώρες που δεν υπάρχει φυσικός φωτισμός.
- Δύσκολη εφαρμογή σε ανακαινίσεις. (“ΟΔΗΓΙΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ,” n.d.)

2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Πολλές επιστημονικές ομάδες έχουν ασχοληθεί με τη μελέτη των φωτοσωλήνων, σε πολλές χώρες του κόσμου. Άλλες από αυτές ασχολήθηκαν κυρίως με το θεωρητικό ή/και πειραματικό υπολογισμό της απόδοσης των συστημάτων αυτών, άλλες με το σχεδιασμό υβριδικών συστημάτων που φιλοδοξούν να ενσωματώσουν και δευτερεύοντα συστήματα στους φωτοσωλήνες, που είτε βελτιώνουν την απόδοσή τους ή προσθέτουν και άλλες λειτουργίες σε αυτούς.

Η μέθοδος Luxplot, για παράδειγμα, μπορεί να εφαρμοστεί σε σωλήνες οποιουδήποτε μεγέθους, με οποιοδήποτε αριθμό καμπυλώσεων, με ένα διαχυτή (Jenkins και Muneer, 2003). Υπολογίζει τη Φωτεινή Ροή (lm) και στη συνέχεια την κατανομή φωτισμού σε οποιοδήποτε σημείο του επίπεδο αναφοράς, δεν έχει περιορισμό στον αριθμό των φωτοσωλήνων ή των διαστάσεων του δωματίου. Η μέθοδος αυτή δεν περιλαμβάνει το ύψος του ήλιου και την παράμετρο της καθαρότητας του ουρανού καθώς επίσης δεν αναφέρει την εξάρτηση του αποτελέσματος από τον συλλέκτη και την ανακλαστικότητα του σωλήνα. Από αυτή τη μεθοδολογία, αναπτύχθηκε ένα εργαλείο με έξοδο μία κάτοψη luxplot (κατανομή Φωτεινότητας στο επίπεδο αναφοράς) με χρώμα (Jenkins et al 2005).

Η μέθοδος αυτή αναλύεται εκτενώς στο ακόλουθο κεφάλαιο, καθώς αποτελεί μια από τις θεωρητικές μεθόδους υπολογισμού που έχουν χρησιμοποιηθεί στο υπολογιστικό εργαλείο του Πανεπιστημίου Αθηνών, που εφαρμόστηκε για την εργασία αυτή.

Στο εργαλείο που αναπτύχθηκε από τους Zhang και Muneer το 2002 οι παράμετροι εισόδου είναι περισσότερα από εκείνα της μεθόδου Luxplot, καθώς απαιτείται το ύψος του ήλιου και η καθαρότητα του ουρανού. Η ποσότητα που χρησιμοποιείται για να περιγράψει την φωτεινή απόδοση του σωλήνα είναι ο ημερήσιος παράγοντας διείσδυσης (Daylight Penetration Factor, DPF). Για την δημιουργία του μοντέλου έχει εισαχθεί συγκεκριμένο όριο για το μήκος του φωτοσωλήνα και ένας τύπος διαχυτή.

Μια τρίτη μέθοδος έχει περιγραφεί από τον David Carter και περιλαμβάνει την εκτίμηση της συνολικής ποσότητας του φωτός που εκπέμπεται από έναν φωτοσωλήνα και την κατανομή της φωτεινής έντασης. Ο Carter κατασκεύασε το εργαλείο αυτό εισάγοντας σωλήνες διαμέτρου 0,33, 0,45 και 0,53 μέτρων και μήκους 0,6 και 1,2 μέτρων. Η μέθοδος αυτή έχει τη δυνατότητα υπολογισμού των απωλειών λόγω των γωνιών του σωλήνα.

Επίσης μελέτες όσων αφορά την απόδοση του φωτοσωλήνα έχουν γίνει από τον Άρη Τσαγκρασούλη (θεωρητική προσέγγιση) και τον Angelo Mingozzi (μαθηματική προσέγγιση για τον υπολογισμό του βέλτιστου μεγέθους του σωλήνα και του συλλέκτη).

Οι βασικότερες από τις μελέτες αυτές αναφέρονται συνοπτικά στο συγκεκριμένο κεφάλαιο. (Jenkins & Muneer, 2004)

2.1 Luxplot method

Είναι μέρος μίας συνολικής ημιεμπειρικής μεθόδου πρόβλεψης ανεπτυγμένης από τους Jenkins και Muneer. Υπολογίζει αρχικά την φωτεινή ροή για οποιοδήποτε μέγεθος φωτοσωλήνα και οποιαδήποτε διαμόρφωσή του με γωνίες. Στη συνέχεια το μοντέλο εκτιμάει την κατανομή του φωτός σε οποιαδήποτε απόσταση κάτω από τον διαχυτή.

Οι Jenkins και Muneer χρησιμοποίησαν μετρήσεις για την επικύρωση του μοντέλου από όλο το Ηνωμένο Βασίλειο για διαφορετικές περιόδους του έτους. Οι σωλήνες είχαν διαμέτρους από 0.3 έως 0.53m και μήκος από 0.6 έως 6m. Επομένως καλύπτει ένα ευρύ φάσμα αναλογίας/λόγου διαστάσεων(πηλίκο μήκους προς διάμετρο φωτοσωλήνα). Επίσης οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε μία σειρά φωτοσωλήνων με γωνίες από 5° έως 75°.

Στη μέθοδο αυτή δεν συμμετέχει άμεσα ο προσανατολισμός του φωτοσωλήνα, η νεφοκάλυψη/ καθαρότητα του ουρανού και οι εσωτερικές ανακλάσεις. Συνεπώς δεν αντιπροσωπεύει μία πραγματική κατάσταση.

Το αποτέλεσμα που αναμένεται είναι τα επίπεδα του φωτός στο εσωτερικό του δωματίου μόνο από τα light pipe.

Στη μεθοδολογία των Jenkins et al. ο υπολογισμός της ροής φωτεινότητας απαιτεί τη γνώση των διαστάσεων και του λόγου των αναλογιών του σωλήνα. Προκύπτει μία σχέση που συνδέει τον λόγο των αναλογιών και τη μεταφορά του φωτός διαμέσου του σωλήνα.

$$luminous\ flux = \tau \cdot E \cdot \pi \cdot r^2 \quad (12)$$

Όπου:

E: η εξωτερική φωτεινότητα (lux)

R: η ακτίνα του φωτοσωλήνα

τ : ο συντελεστής μεταφοράς (συμπεριλαμβανομένου του συλλέκτη και του διαχυτή)

Όταν ο ουρανός είναι καθαρός το άμεσο εισερχόμενο φως σε αντίθεση με αυτό που ανακλάται μέσω του φωτοσωλήνα προκαλεί ένα σχεδόν τυχαίο αποτέλεσμα στο εισερχόμενο φως. Η θέση του ήλιου επηρεάζει τη γωνία εισόδου της ηλιακής ακτινοβολίας καθώς και τη διαδρομή του φωτός μέσα στο σωλήνα. Από τις μετρήσεις διαμορφώθηκαν εξισώσεις για την φωτεινή ροή ή για την εσωτερική φωτεινότητα.

$$\phi = 0,82 \cdot E_{ex} \cdot e^{-0,11 \cdot A} \cdot \pi \cdot r^2 \quad (13)$$

Όπου A: ο λόγος όψης του φωτοσωλήνα μόνο για ανακλαστικότητα 95%

Το 0,11 είναι ένα μέτρο ανακλαστικότητας του σωλήνα που σχετίζεται με την απώλεια φωτός διαμέσου αυτού.

Η εσωτερική φωτεινότητα, E_{in} , υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{in} = 0,494 \cdot \varphi \cdot \frac{\cos^4 \theta}{V^2} \quad (14)$$

Όπου:

V: η κατακόρυφη απόσταση από τον διαχυτή ως το σημείο ενδιαφέροντος

θ : η γωνία μεταξύ του κέντρου του διαχυτή και του σημείου ενδιαφέροντος

*ο συντελεστής 0,494 προέκυψε εμπειρικά.

2.2 Μέθοδος TTE

Η μέθοδος TTE αναλύεται διεξοδικά, καθώς αποτελεί τη βασική μέθοδο υπολογισμού της Φωτεινής ροής που εκπέμπεται από το διαχυτή των σωλήνων φωτισμού προς το εσωτερικό του χώρου που εξετάζεται και χρησιμοποιήθηκε στο υπολογιστικό εργαλείο του Πανεπιστημίου Αθηνών, που εφαρμόστηκε για την εργασία αυτή.

Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην έννοια της αποτελεσματικότητας του σωλήνα μεταφοράς (Transmission Tube Efficiencies, TTE). TTE είναι ένας όρος που εκφράζει τις απώλειες του φωτός που περνά διαμέσου ενός φωτοσωλήνα.

Η μέθοδος TTE ενσωματώνει το μήκος, τη διάμετρο και την ανάκλαση και μπορεί να υπολογιστεί κατά προσέγγιση με την ακόλουθη σχέση:

$$TTE = \frac{e^{\frac{L}{D} \tan \theta \ln R}}{\left(1 - \frac{L}{D} \tan \theta \ln R\right)^{0,5}} \quad (15)$$

Όπου:

R: ανακλαστικότητα του φωτοσωλήνα

L/D: αναλογία διαστάσεων του φωτοσωλήνα

L= ισοδύναμο οπτικό μήκος

D= διάμετρος (m).

Ωστόσο, η CIE Τεχνική έκθεση 173: 2006, προβλέπει τιμές TTE για διάφορες διαμέτρους σωλήνων, μήκη και ανακλάσεις, σε μορφή πίνακα για πιο απλή εφαρμογή.

Προκειμένου να υπολογιστεί η ροή Φ_i του διαχυτή ενός φωτοσωλήνα, εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση:

$$\Phi_i = \Phi_e \cdot EG \quad (16)$$

Όπου:

Φ_i : φωτεινή ροή από τον φωτοσωλήνα

Φ_e : φωτεινή ροή που εισέρχεται στον φωτοσωλήνα

EG: συνολική αποδοτικότητα

$$\Phi_e = E_{ex} \cdot A \quad (17)$$

Όπου:

E_{ex} : εξωτερική φωτεινότητα

A : εμβαδό διατομής φωτοσωλήνα

$$EG = TTE \cdot tc \cdot MF \quad (18)$$

Όπου:

TTE : απόδοση της διαπερατότητας του φωτοσωλήνα

Tc : γινόμενο της διαπερατότητας του θόλου και του διαχυτή

MF : συντελεστής συντήρησης του συστήματος.

Προκειμένου να υπολογιστεί ο Παράγοντας Διείσδυση Φυσικού Φωτός (Daylight Penetration Factor, DPF), εφαρμόζεται η ακόλουθη σχέση:

$$DPF = \frac{N \cdot \Phi_i \cdot UF}{A \cdot E_{ex}} \% \quad (19)$$

Όπου:

N : ο αριθμός των φωτοσωλήνων σε ένα χώρο,

Φ_i : η συνολική ροή που εξέρχεται από το διαχυτή (lm),

UF : ο συντελεστής χρήσης του συστήματος.

Η μέση ένταση φωτισμού στο επίπεδο αναφοράς μπορεί να υπολογιστεί, πολλαπλασιάζοντας τον δείκτη DPF με την εξωτερική φωτεινότητα E_{ex} σε μια ορισμένη στιγμή και διαιρώντας το προϊόν με 100.

Στη μέθοδο αυτή μπορούν επίσης να ληφθούν υπόψη καμπύλες που πιθανόν να έχουν οι σωλήνες. Για το λόγο αυτό, η Τεχνική Οδηγία CIE 173:2006, περιλαμβάνει πίνακες αναλογιών διαστάσεων (Aspect ratios) που αντιστοιχούν σε διάφορες γωνίες κάμψης (Πίνακας 5). Ανάλογα με τη διάμετρο του σωλήνα και την αναλογία των διαστάσεων του, δίνονται τιμές TTE από πίνακες (στο Παράρτημα Ι), το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της φωτεινής ροής εξόδου (σχέσεις 17-19), και της έντασης φωτισμού στο χώρο (σχέση 19)

Angle	D=0.25	D=0.375	D=0.53	D=0.65
30	4.8	3.5	2.3	1.4
60	9.6	5.7	4.5	2.8
90	12.8	7.2	5.8	3.7
2x30	8.7	3.8	2.5	1.5
2x60	12.9	6.8	7	3.6

Πίνακας 5: Αναλογίες διαστάσεων φωτοσωλήνων με γωνίες (source: CIE Technical Report 173:2006)

Στο υπολογιστικό εργαλείο που χρησιμοποιείται στην εργασία αυτή, η εξίσωση 19 συνδυάζεται με την εξίσωση 13 της μεθοδολογίας Luxplot και με προσομοιώσεις, δι-

αδικασία που θα περιγραφεί στο Κεφάλαιο **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**

2.3 Ηλεκτρονικά Προγράμματα

Εκτός από τη χρήση θεωρητικών μεθόδων, η απόδοση των φωτοσωλήνων μπορεί να πραγματοποιηθεί με τη χρήση υπολογιστικών προγραμμάτων. Η χρήση αριθμητικών μεθόδων και προγραμμάτων για την προσομοίωση της διείσδυσης του φωτός σε εσωτερικούς χώρους πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την κατανομή του φωτός σε έναν χώρο. Οι παράγοντες αυτοί περιλαμβάνουν εκτός από τις καιρικές συνθήκες, το είδος της πηγής του φωτός καθώς και την αλληλεπίδραση με το χώρο, δηλαδή την ανάκλαση σε τοίχους κλπ. Οι ανακλάσεις επιδρούν σε σημαντικό βαθμό στο φως που φτάνει στον χώρο εργασίας αλλά είναι δύσκολο να προσομοιωθούν από κάποιο software. Κάποια από τα προγράμματα που μπορούν να υπολογίσουν την απόδοση των φωτοσωλήνων είναι:

1. SkyVision

Φτιάχτηκε από το Εθνικό Συμβούλιο έρευνας του Καναδά για την περιγραφή των μεθόδων απόδοσης του ηλιακού φωτός.

Μπορεί να υπολογίσει τις απαιτήσεις φωτισμού ενός δωματίου που έχουν τοποθετηθεί φεγγίτες ή φωτοσωλήνες.

Εισάγεται αρχικά το είδος του μέσου φυσικού φωτισμού, οι ανακλάσεις στην οροφή και τους τοίχους του δωματίου και ο προσανατολισμός. Για τους φωτοσωλήνες εισάγονται δεδομένα που αφορούν τις διαστάσεις τους(μήκος, διάμετρος, μέγεθος διαχυτή και συλλέκτη) καθώς και η ανακλαστικότητα και διαπερατότητα του φωτοσωλήνα. Έχει τη δυνατότητα εισαγωγής έως και δέκα φωτοσωλήνων σε κάθε χώρο.

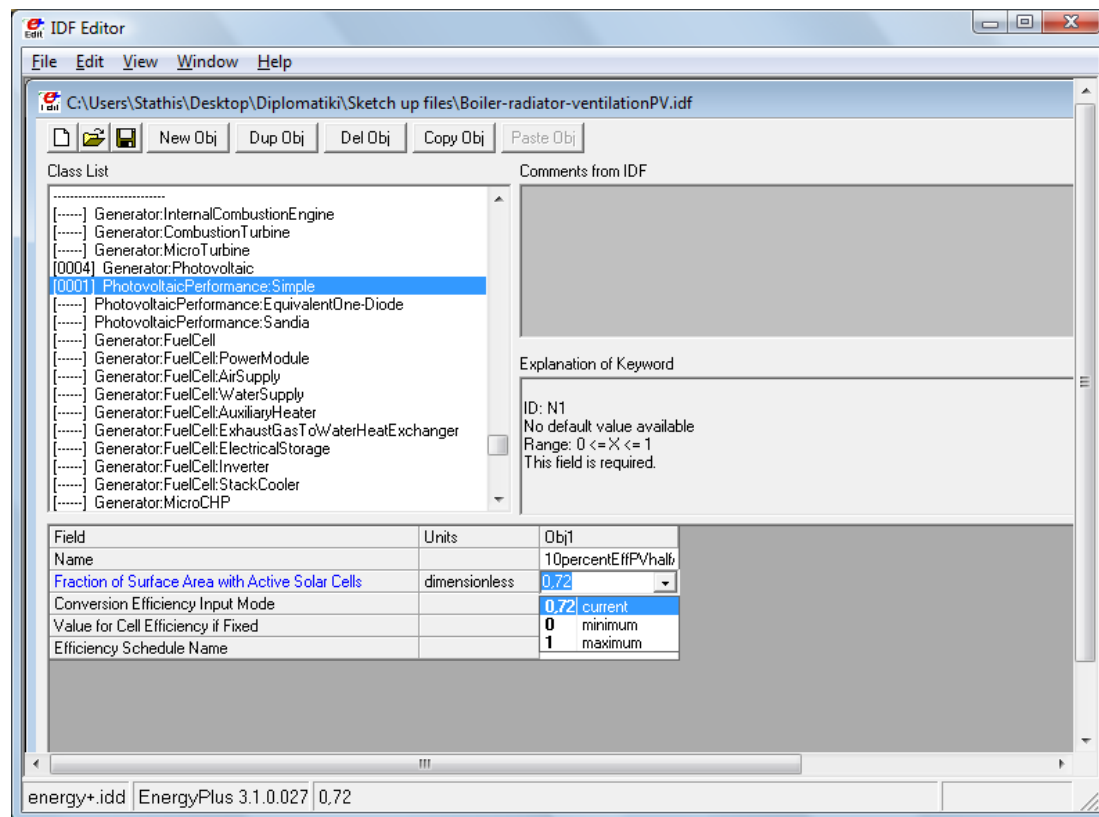
Στη συνέχεια εισάγεται το γεωγραφικό πλάτος και μήκος και οι συνθήκες νεφοκάλυψης, καθώς δεν απαιτείται η συνολική φωτεινή ένταση.

Τα δεδομένα εξόδου του προγράμματος είναι η εσωτερικές φωτεινές συνθήκες, τα μέσα ημερήσια δεδομένα ακόμα και σε πίνακες και γραφήματα καθώς και ο συντελεστής φωτισμού και η επιφανειακή κάλυψη σε συνάρτηση με το χρόνο.(Jenkins & Muneer, 2004)

2. Energy plus

Το Energy plus είναι ένα πρόγραμμα προσομοίωσης της κατανάλωσης ενέργειας για τη μοντελοποίηση της θέρμανσης, ψύξης, φωτισμού, αερισμού και διάφορων άλλων ροών ενέργειας των κτιρίων. Έχει τη δυνατότητα εισαγωγής των κατασκευαστικών δεδομένων(δομικά στοιχεία) του κτιρίου, των μετεωρολογικών δεδομένων της περιοχής, τον ορισμό των θερμικών ζωνών, την ενσωμάτωση συστημάτων ενεργειακής κατανάλωσης (συστήματα θέρμανσης-ψύξης) κλπ.

Η εισαγωγή των δεδομένων μέσω του IDF Editor δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας των δεδομένων που παρέχονται σε λίστες καθώς εμφανίζονται αυτόματα όλα τα στοιχεία του ίδιου τύπου το ένα δίπλα στο άλλο σε μορφή πλέγματος.



Εικόνα 25: IDF Editor

Τα κύρια κεφάλαια εισαγωγής δεδομένων είναι:

- Παράμετροι προσομοίωσης
- Τοποθεσίας και κλίματος
- Θερμικές ζώνες και επιφάνειες
- Δομικά στοιχεία επιφάνειας
- Ηλιακοί συλλέκτες (Στάθης Κ. Ζαπίτης, 2010)

Το Energy plus είναι ένα software που έχει τη δυνατότητα να αξιολογεί τις επιδόσεις των light- pipe. Αποτελεί σχεδιαστικό εργαλείο αυτών των τεχνολογικών συστημάτων βασισμένο σε αριθμητικές μεθόδους. Πολλοί παράγοντες συμβάλουν στην ένταση του φωτός που έχει διαπεράσει τους φωτοσωλήνες. Οι κλιματικές αλλαγές, οι ανακλαστικότητα του φωτοσωλήνα κλπ.

Το Energy plus φαίνεται να είναι ευαίσθητο στην ανακλώμενη συνιστώσα δίνοντας τιμές μεγαλύτερες από τις πειραματικές σε θέσεις όχι πολύ μακριά από τα light pipes. Δίνει αυξημένα δεδομένα σε σχέση με τα πειραματικά κατά 30-35% ακριβώς κάτω από την πηγή, 23-70% μακριά από την πηγή. Φαίνεται ότι σε μακρινές αποστάσεις τα

αποτελέσματα των πειραματικών και αυτά των αριθμητικών αποτελεσμάτων έχουν μεγάλη απόκλιση μεταξύ τους. (Zazzini, Chella, & Scarduzio, 2006)

3. Radiance

Το πρόγραμμα αυτό βασίζεται σε έναν αλγόριθμο ανίχνευσης ακτίνων. Οι ακτίνες αυτές του φωτός στον αλγόριθμο αυτόν ανιχνεύονται στην αντίθετη κατεύθυνση από εκείνη που ακολουθούν φυσικά. Δηλαδή ξεκινώντας από το μάτι, που θεωρείται ο δέκτης ο οποίος ανιχνεύει την ακτίνα, έως τη φωτεινή πηγή από όπου προέρχεται η ακτίνα λαμβάνοντας υπόψη όλες τις αλληλεπιδράσεις του χώρου (ανάκλαση, διάθλαση) λόγω της ύπαρξης των διαφόρων επιφανειών.

Χρησιμοποιεί την γεωμετρική περιγραφή του χώρου με βάση τα όρια των αντικειμένων. Τα αντικείμενα που συνθέτουν τον περιβάλλοντα χώρο περιγράφονται χρησιμοποιώντας ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (X, Y, Z). Ο άξονας X έχει κατεύθυνση προς την Ανατολή, ο άξονας Y προς το Βορρά και ο άξονας Z προς το ζενίθ.

Μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε μονάδα μήκους, αρκεί όταν ένας χώρος αποτελείται από περισσότερα από ένα στοιχεία, να έχουν όλα την ίδια μονάδα μήκους.

Κάθε ακτίνα φέρει ένα ορισμένο ποσό ακτινοβολίας που εκφράζεται σε $[W / m^2 sr]$. Η ακτινοβολία διαιρείται σε τρία «κανάλια» που αντιστοιχούν σε κόκκινο, πράσινο και μπλε χρώματα (R, G, B αντίστοιχα). Η συνολική ακτινοβολία R υπολογίζεται ως το σταθμισμένο άθροισμα των ακτινοβολιών R_r , R_g και R_b μεταφερόμενα από τα τρία κανάλια:

$$R = 0,265R_r + 0,670R_g + 0,065R_b \quad (1) \quad [W/m^2sr]$$

Η μετατροπή από ακτινοβολία R (μονάδα ραδιομετρική) σε φωτεινότητα L (φωτομετρική μονάδα) δίνεται από την εξίσωση:

$$L = 179R = 47,4R_r + 119,9R_g + 11,7R_b \quad (2) \quad [cd / m^2]$$

Αυτή η μέθοδος χειρισμού χρωμάτων αναφέρεται σε ένα μοντέλο το οποίο δεν είναι σε θέση να αναπαραστήσει πλήρως τις φασματικές ιδιότητες των υλικών σε σύγκριση με τα προγράμματα, όπου η φασματική διανομή του φωτός μοντελοποιείται χρησιμοποιώντας πολλά κανάλια που καλύπτουν στενό μήκος κύματος. Το πρόγραμμα εκτιμά τις ανακλάσεις και την διαπερατότητα των υλικών με βάση τα τρία κανάλια που αντιστοιχούν στα χρώματα που αναφέρθηκαν παραπάνω. (“Radiance: a simulation tool for daylighting systems,” n.d.)

Συγκεκριμένες εκδόσεις του προγράμματος αυτού μπορούν να υπολογίσουν την απόδοση των φωτοσωλήνων.

3 Μεθοδολογία διεξαγωγής υπολογισμών

Στόχος της εργασίας αυτής είναι ο θεωρητικός υπολογισμός της απόδοσης των φωτοσωλήνων, με τη χρήση ενός υπολογιστικού εργαλείου, που ενσωματώνει δύο θεωρητικές υπολογιστικές μεθόδους και η σύγκριση των αποτελεσμάτων με πραγματικές μετρήσεις όπως καταγράφονται στο πείραμα που βρίσκεται σε εξέλιξη. Τα βήματα που έχουν ακολουθηθεί είναι:

- Λήψη δεδομένων/ μετρήσεων 13 ημερών του πειράματος
- Εφαρμογή των καταγεγραμμένων εξωτερικών Φωτεινότητων (lux) στο θεωρητικό εργαλείο υπολογισμού
- Σύγκριση των αποτελεσμάτων

3.1 Εργαλείο θεωρητικού υπολογισμού απόδοσης φωτοσωλήνων

Προκειμένου να υπολογιστεί θεωρητικά η απόδοση των φωτοσωλήνων και να συγκριθούν οι αποδόσεις αυτές με πειραματικά δεδομένα, χρησιμοποιήθηκε ένα υπολογιστικό εργαλείο, που αναπτύχθηκε από την Ομάδα Ερευνών Κτιριακού Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αθηνών, στα πλαίσια του ευρωπαϊκού Προγράμματος HERB. Το εργαλείο έχει σαν στόχο τον υπολογισμό 1. της απόδοσης του φωτοσωλήνα (δηλαδή του μέσου όρου Φωτεινότητας από το φυσικό φως που παρέχει ο φωτοσωλήνας σε ένα δεδομένο χώρο) και 2. του αριθμού των πηγών τεχνητού φωτός που μπορούν να ενσωματωθούν στο σύστημα ώστε να συμπληρώνουν το φυσικό φως, όταν τα επίπεδα δεν κρίνονται επαρκή. Το εργαλείο αυτό έχει παραχωρηθεί για την διεξαγωγή της εργασίας αυτής.

Το εργαλείο υπολογισμού (LP tool) κάνει χρήση των ακόλουθων δύο μεθόδων για τον υπολογισμό της απόδοσης των φωτοσωλήνων:

A. «Μαθηματική» ή θεωρητική μέθοδος, η οποία ενσωματώνει τη μέθοδο που περιγράφεται στο Τεχνικό Δελτίο (Technical Report) CIE 173:2006, για τον υπολογισμό της Φωτεινής ροής που εκπέμπεται από το φωτοσωλήνα στο χώρο και της μεθόδου των Jenkins και Muneer για τον υπολογισμό της Φωτεινότητας εντός του εξεταζόμενου χώρου. (Και οι δύο μέθοδοι αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 2).

i. Εφαρμογή των μεθόδων TTE και Luxplot

Η μέθοδος TTE εφαρμόστηκε σε οκτώ δωμάτια παραλληλόγραμμης κάτοψης, αλλά διαφορετικών διαστάσεων (Πίνακας 6). Σε κάθε δωμάτιο, υπολογίστηκε η απόδοση φωτοσωλήνων 2 τιμών ανακλαστικότητας (0.95 και 0.98), 5 διαμέτρων (0,25, 0,35, 0,53, 0,65 και 0,9 m) και 18 μηκών (0,25, 0,5, 0,75, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 18, 20 και 25 m), προκειμένου να καθοριστεί η φωτεινή ροή, για μια θεωρητική τιμή εξωτερικής φωτεινότητας, ίσης με 5000 lux. Η διαπερατότητα τόσο του θόλου όσο και του διαχυτή θεωρήθηκε ότι είναι 0,82.

Για τα χαρακτηριστικά του φωτοσωλήνα που περιγράφηκαν προηγουμένως, οι τιμές TTE, ελήφθησαν από το Technical report 173:2006. Αφού προσδιορίστηκε η φωτεινή

ροή που εισέρχεται στο χώρο από το φωτοσώληνα, η σημειακή Φωτεινότητα E_i υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη μεθοδολογία Luxplot. Το επίπεδο αναφοράς κάθε δωματίου (το οποίο βρίσκεται 0.85m από το δάπεδο του δωματίου), χωρίστηκε σε κάναβο 0,5 x 0,5 m, στις ακμές του οποίου υπολογίστηκε η σημειακή φωτεινότητα. Θεωρήθηκε ένας φωτοσώληνας σε κάθε δωμάτιο.

	Μήκος (m)	Πλάτος(m)	Ύψος (m)	Room Index
Δωμάτιο 1	4	4	3	0,67
Δωμάτιο 2	4	4	5	0,40
Δωμάτιο 3	6	4	3	0,80
Δωμάτιο 4	7	4	3	0,85
Δωμάτιο 5	5	5	4	0,63
Δωμάτιο 6	6	6	2,5	1,20
Δωμάτιο 7	4	3	3	0,57
Δωμάτιο 8	5	4	3	0,74

Πίνακας 6: Οι τύποι των δωματίων που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή της μεθόδου Luxplot

Από τις εξισώσεις που αναπτύχθηκαν για τις παραπάνω αναφερόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες ($E_{ex}=5.000\text{lux}$) και τα χαρακτηριστικά του δωματίου (διαστάσεις, ανακλαστικότητα, κλπ) και του φωτοσώληνα (διάμετρος, μήκος, ανάκλαση, διαπερατότητα), προέκυψε η φωτεινότητα σε κάθε σημείο του πλέγματος. Από αυτές τις τιμές υπολογίστηκε η μέση τιμή Φωτεινότητας στο χώρο.

Ο συσχετισμός των τιμών φωτεινότητας, που υπολογίζεται με τη μέθοδο Luxplot, των διαστάσεων του δωματίου και του TTE, οδήγησε στις ακόλουθες εξισώσεις που μεταβάλλονται ανάλογα με τη διάμετρο r του σωλήνα.

Επίσης, φαίνονται παρακάτω οι σχέσεις που συνδέουν τη μέση φωτεινότητα με τις διαστάσεις του χώρου και τη φωτεινή ροή (ϕ_{sp}), σε περίπτωση που έχει επιλεγεί άλλη μέθοδος υπολογισμού της φωτεινής ροής (π.χ. η σχέση 12 της Luxplot μεθοδολογίας).

Για διάμετρο $r=0,25\text{m}$

$$E_{pipe}=11,94 - 0,59 \cdot L - 1,81 \cdot W - 1,40 \cdot H + 7,04 \cdot TTE \quad (3)$$

ή

$$E_{pipe}=11,94 - 0,59 \cdot L - 1,81 \cdot W - 1,40 \cdot H + 0,04 \cdot \phi_{sp} \quad (4)$$

Για διάμετρο $r=0,30\text{m}$:

$$E_{pipe}=18,96 - 0,96 L - 2,78 W - 2,26 H + 10,42 TTE \quad (5)$$

ή

$$E_{pipe}=18,96 - 0,96 L - 2,78 W - 2,26 H + 0,04 \varphi_{sp} \quad (6)$$

Για διάμετρο $r=0,35m$:

$$E_{pipe}=26,07 - 1,37 L - 3,79 W - 3,12 H + 13,78 TTE \quad (7)$$

ή

$$E_{pipe}=26,07 - 1,37 L - 3,79 W - 3,12 H + 0,04 \varphi_{sp} \quad (8)$$

Για διάμετρο $r=0,375m$:

$$E_{pipe}=30 - 1,56 L - 4,23 W - 3,64 H + 15,41 TTE \quad (9)$$

ή

$$E_{pipe}=30 - 1,56 L - 4,23 W - 3,64 H + 0,04 \varphi_{sp} \quad (10)$$

Για διάμετρο $r=0,53m$:

$$E_{pipe}=66,24 - 3,67 L - 9,23 W - 8,10 H + 31,47 TTE \quad (11)$$

ή

$$E_{pipe}=66,24 - 3,67 L - 9,23 W - 8,10 H + 0,04 \varphi_{sp} \quad (12)$$

Για διάμετρο $r=0,65m$:

$$E_{pipe}=104,18 - 5,91 L - 14,23 W - 12,85 H + 47,22 TTE \quad (13)$$

ή

$$E_{pipe}=104,18 - 5,91 L - 14,23 W - 12,85 H + 0,04 \varphi_{sp} \quad (14)$$

Για διάμετρο $r=0,90m$:

$$E_{pipe}=209,91 - 12,21 L - 28,01 W - 26,11 H + 90,21 TTE \quad (15)$$

ή

$$E_{pipe}=240,35 - 13,22 L - 27,87 W - 28,61 H + 0,03 \varphi_{sp} \quad (16)$$

Όπου:

L: το μήκος του δωματίου (η μεγαλύτερη διάσταση του δωματίου, m),

W: το πλάτος του δωματίου (m),

H: το ύψος του χώρου (m),

TTE: η απόδοση του σωλήνα μεταφοράς

φ_{sp} : η ροή που εξέρχεται από τον διαχυτή του σωλήνα (lm).

Οι εξισώσεις 22-35 ισχύουν για τις συνθήκες υπό τις οποίες έγιναν οι υπολογισμοί ($E_{ex} = 5,000\text{lux}$, $TC = 0,82$, κλπ) και μπορεί να αλλάξουν για να υπολογιστεί ο μέσος όρος φωτισμού για διαφορετικές εξωτερικές ή εσωτερικές συνθήκες και για διαφορετικά χαρακτηριστικά του σωλήνα, πολλαπλασιάζοντας το αποτέλεσμα με τη μεταβλητή a που δίδεται παρακάτω: (Konstantina Vasilakopoulou, Afroditi Synnefa, Dionisia Kolokotsa, Theoni Karlessi, n.d.)

$$a = \frac{E_{ex}}{5000} \cdot \frac{\tau_{dom} \cdot \tau_{dif}}{0,82} \cdot \frac{MF}{0,9} \quad (36)$$

B. Μέθοδος δημιουργίας υπολογιστικών αλγορίθμων με τη χρήση προσομοιώσεων

Οι προσομοιώσεις έγιναν με το IES VE pro software το οποίο είναι ένα εργαλείο προσομοίωσης κτιρίων, με δυνατότητα εκτέλεσης θερμικών προσομοιώσεων, αξιολόγηση των ηλιακών κερδών, προσομοίωση των συστημάτων HVAC, ανάλυση της ενέργειας και άνθρακα, κ.λπ. Επιπλέον, το λογισμικό είναι σε θέση να εκτελέσει την ανάλυση φωτισμού, για το φως της ημέρας και για τεχνητό φωτισμό.

Η διαδικασία που πραγματοποιήθηκε ώστε να παραχθούν σχέσεις που υπολογίζουν τη μέση εσωτερική φωτεινότητα που προέρχεται από ένα φωτοσωλήνα, αποτελείται κυρίως από τα ακόλουθα βήματα:

- Εύρεση ή κατασκευή του φωτομετρικού αρχείου ενός κυκλικού φωτιστικού με περιμετρικά συμμετρική κατανομή φωτεινής έντασης (cosine luminous intensity distribution).
- Ρύθμιση της διαμέτρου του φωτιστικού ώστε να είναι ίδια με τη διάμετρο του φωτοσωλήνα.
- Αντικατάσταση της φωτεινής ροής των λαμπτήρων με αυτή που προέρχεται από τη μέθοδο TTE, για δεδομένη εξωτερική φωτεινότητα.

Με αυτή τη διαδικασία υλοποιήθηκαν προσομοιώσεις στους ίδιους χώρους και με τους ίδιους φωτοσωλήνες, όπως εφαρμόστηκε και για το συνδυασμό των μεθόδων TTE και Jenkins. Οι εξισώσεις που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία, για πέντε διαφορετικές διαμέτρους r φωτοσωλήνα, είναι οι ακόλουθες:

Για διάμετρο $r = 0,25\text{m}$

$$E_i = 5,73 - 0,64 \cdot L - 0,31 \cdot W - 0,95 \cdot H + 4,34 \cdot TTE \quad (17)$$

Για διάμετρο $r = 0,35\text{m}$

$$E_i = 14,22 - 0,90 \cdot L - 1,30 \cdot W - 2,30 \cdot H + 7,59 \cdot TTE \quad (18)$$

Για διάμετρο $r = 0,53\text{m}$

$$E_i = 34,63 - 2,96 \cdot L - 2,29 \cdot W - 6,02 \cdot H + 19,03 \cdot TTE \quad (19)$$

Για διάμετρο $r = 0,63\text{m}$

$$E_i = 59,79 - 4,52 \cdot L - 4,08 \cdot W - 10,06 \cdot H + 25,53 \cdot TTE \quad (20)$$

Για διάμετρο $r = 0,90\text{m}$

$$E_i = 101,68 - 6,26 \cdot L - 9,59 \cdot W - 18,08 \cdot H + 58,22 \cdot TTE \quad (21)$$

ii. Χρήση του υπολογιστικού εργαλείου

Οι σχέσεις $E_{\text{pipe}} = 11,94 - 0,59 \cdot L - 1,81 \cdot W - 1,40 \cdot H + 7,04 \cdot TTE$ (3- $E_{\text{pipe}} = 240,35 - 13,22 \cdot L - 27,87 \cdot W - 28,61 \cdot H + 0,03 \cdot \varphi_{\text{sp}}$ (16 και $E_i = 5,73 - 0,64 \cdot L - 0,31 \cdot W - 0,95 \cdot H + 4,34 \cdot TTE$ (17- $E_i = 101,68 - 6,26 \cdot L - 9,59 \cdot W - 18,08 \cdot H + 58,22 \cdot TTE$ (21 έχουν ενσωματωθεί σε ένα ενιαίο υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο προσφέρει ευκολία στο χρήστη, αφού δίνει περιορισμένο αριθμό επιλογών στις μεταβλητές και παράγει αυτόματα τα αποτελέσματα, τα οποία είναι η μέση Φωτεινότητα στο επίπεδο αναφοράς από ένα φωτοσωλήνα και για τις δυο προαναφερθείσες μεθόδους (TTE-Luxplot και TTE – προσομοιώσεις) αλλά και ο αριθμός των λαμπτήρων LED που θα πρέπει να ενσωματωθούν στο σύστημα, ώστε αυτό να καλύπτει συγκεκριμένες απαιτήσεις καθ' όλες τις ώρες.

Οι εικόνες που ακολουθούν περιλαμβάνουν αποτυπώσεις/ απεικονίσεις του υπολογιστικού εργαλείου και των δεδομένων που πρέπει να εισαχθούν ή που υπολογίζονται αυτόματα.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
SET THE VALUE ACCORDING TO APPLICATION. SHEET E _{ex} CAN ALSO BE USED.		LENGTH IS CONSIDERED TO BE GREATER THAN WIDTH. INCLUDE ONLY THE AREA WHERE THE ILLUMINANCE IS GOING TO BE CALCULATED, FOR EXAMPLE BY SUBTRACTING OFFSET TO WALLS.	INCLUDE ONLY THE AREA WHERE THE ILLUMINANCE IS GOING TO BE CALCULATED, FOR EXAMPLE BY SUBTRACTING OFFSET TO WALLS.	INCLUDE VERTICAL DISTANCE FROM CEILING TO REFERENCE PLANE.	INSERT APPROPRIATE VALUE.	INSERT APPROPRIATE VALUE.	INSERT APPROPRIATE VALUE.	AUTOMATIC CALCULATION
E _{ex} (lux)		ROOM LENGTH (m)	ROOM WIDTH (m)	ROOM HEIGHT (m)	WINDOW AREA (m ²)	twin	WINDOW MF	ROOM IN
63529,02		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47
64572,39		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47
74220,48		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47
79554,11		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47
73688,22		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47
89649,45		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47
107756,10		2,82	1,05	1,61	0	0	0	0,47

Εικόνα 26: Εισαγωγή εξωτερική φωτεινότητας και χαρακτηριστικών του δωματίου

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 26 εισάγονται στο υπολογιστικό εργαλείο η εξωτερική φωτεινότητα, το μήκος, το πλάτος και το ύψος του δωματίου, η επιφάνεια των παραθύρων αν υπάρχουν, η σταθερά UF και η φωτεινή ένταση E_{int} .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1		SELECT FROM THE DROP DOWN LIST	SET VALUE ACCORDING TO APPLICATION	SELECT FROM THE DROP DOWN LIST	AUTOMATICALLY CALCULATED	SET THE VALUE ACCORDING TO APPLICATION	INSERT APPROPRIATE VALUE FROM TABLE IN SHEET "MF"		AUTOMATICALLY CALCULATED
2	STRAIGHT LIGHT PIPE/S	LIGHT PIPE DIAMETER (m)	LIGHT PIPE LENGTH (m)	TUBE REFLECTANCE	TTE	tc	MF		Φi (lm)
3	1	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		1817,30
4	2	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		1847,15
5	3	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		2123,14
6	4	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		2275,72
7	5	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		2107,92
8	6	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		2564,50
9	7	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		3082,46
10	8	0,25	2,77	0,98	0,85	0,75	0,92		3118,48

Εικόνα 27: Εισαγωγή χαρακτηριστικών του φωτοσωλήνα

Στον παραπάνω πίνακα (Εικόνα 27) εισάγεται η διάμετρος του φωτοσωλήνα, το μήκος του, η ανακλαστικότητα του, οι μεταβλητές tc και MF και αυτόματα υπολογίζεται ο δείκτης TTE και η φωτεινή ροή.

A	B	C
	LUXPLOT METHOD	SIMULATIONS METHOD
	AUTOMATICALLY CALCULATED	AUTOMATICALLY CALCULATED
LIGHT PIPE/S	Epipe-av (lux)	Epipe-av (lux)
1	143,39	68,16
2	145,75	69,28
3	167,52	79,63
4	179,56	85,35
5	166,32	79,06
6	202,35	96,18
7	243,21	115,61

Εικόνα 28: Αποτελέσματα δύο μεθόδων για ίδια εξωτερική φωτεινότητα

Στην συνέχεια υπολογίζονται αυτόματα ο μέσος όρος της εσωτερική φωτεινότητας τόσο για τη Luxplot method όσο και για τη Simulation method(Εικόνα 28).(Vasilakopoulou, n.d.)

3.2 Πειραματική διάταξη

Στόχος της πειραματικής διάταξης είναι η αξιολόγηση της απόδοσης του φωτοσωλήνα, η σύγκριση των αποτελεσμάτων του πειράματος με αυτά του υπολογιστικού εργαλείου που περιεγράφηκε παραπάνω, με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας του εργαλείου και τη σύγκριση των δεδομένων μέσης εσωτερικής φωτεινότητας και εξοικονόμησης ενέργειας μεταξύ του πειράματος και του υπολογιστικού εργαλείου.

Οι παράμετροι που καταγράφονται στο χώρο του πειράματος, είναι:

- Η Φωτεινότητα (lux)
- Η Λαμπρότητα (cd/m^2)
- Η κατανάλωση ενέργειας και η χρησιμοποιούμενη ισχύς (kWh, W)

3.2.1 Χώρος διεξαγωγής πειράματος:

Ο χώρος όπου έχει εγκατασταθεί η πειραματική διάταξη είναι ένα προκατασκευασμένο δωμάτιο που βρίσκεται στην πανεπιστημιούπολη του Πανεπιστημίου Αθηνών (lat, long: 37.97, 23.79), σε αγροτικό περιβάλλον που περιβάλλεται από φυτά τα οποία δεν επηρεάζουν, λόγω σκιάς, το πείραμα.

Το δωμάτιο έχει μήκος 5,76m, πλάτος 2,75m και ύψος 2,35m.

Ο χώρος που χρησιμοποιείται για το πείραμα βρίσκεται μέσα σε αυτό το δωμάτιο, έχει διαστάσεις 3,81 m x 1,86 m μέσα και έχουν καλυφθεί όλες οι επιφάνειές του με ματ μαύρο ύφασμα, προκειμένου να αποτραπούν οι ανακλάσεις. Η οροφή του δωματίου είναι βαμμένη με ματ μαύρο χρώμα.

Ο φωτοσώληνας είναι εγκατεστημένος στο κέντρο του χώρου που είναι καλυμμένος με μαύρο ύφασμα. Κάτω από αυτόν είναι τοποθετημένα γραφεία με ύψος 0,74m ομοίως καλυμμένα με ύφασμα.

Στο δωμάτιο είναι εγκατεστημένη μία μονάδα κλιματισμού σε περίπτωση ανάπτυξης μεγάλων θερμοκρασιών και προκειμένου να προστατευθούν οι λαμπτήρες LED και να εξασφαλισθεί μεγάλη διάρκεια ζωής τους. Το στοιχείο αυτό είναι το μόνο που δεν είναι καλυμμένο με ύφασμα.



Εικόνα 29: Δωμάτιο δοκιμών

3.2.2 Περιγραφή μετρητικού εξοπλισμού:

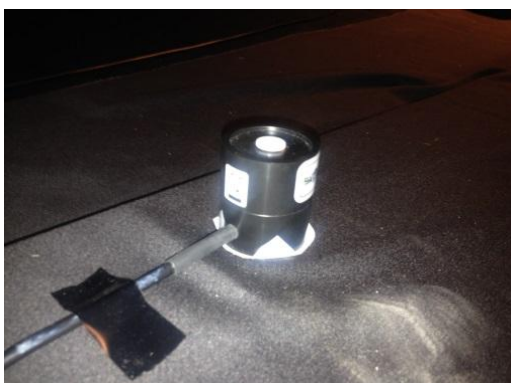
Αισθητήρες (Sensors): 13 αισθητήρες ανιχνεύουν τα επίπεδα φωτός στα σημεία που είναι τοποθετημένοι πάνω στο γραφείο που έχει αναφερθεί παραπάνω. Ένας εξωτερικός δέχεται τη φωτεινότητα του περιβάλλοντος, δηλαδή την εξωτερική φωτεινότητα

που εισέρχεται στον φωτοσωλήνα.(Εικόνα 30, Εικόνα 31) Τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων περιγράφονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 7).

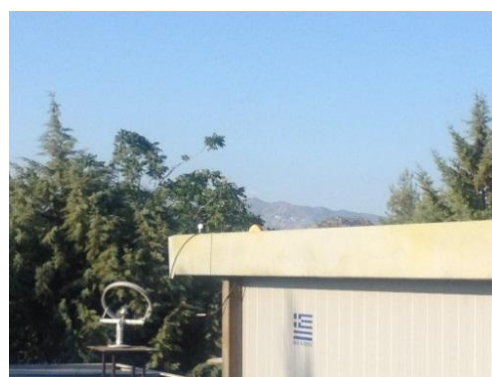
Διαστάσεις	Βάρος	Κατασκευή	Καλώδιο(cable)	Αισθητήρας (sensor)	Ανιχνευτής (detector)	Filters	Ευαισθησία ρεύματος (Sensitivity-current)	Ευαισθησία τάσης (Sensitivity-voltage)	Εύρος λειτουργίας (Working range)
Ύψος:38m Διάμετρος: 34mm	130gr (με 3m καλώδιο)	Dupont “Derlin” fully sealed to IP68	2 core screened DEF std 61-12/4.5	Cosine corrected head	Silicon photocell. Low fatigue characteristic	Optical Glass	1.4μΑ/ 10 kLux	1mV/ 10 kLux	0-500 kLux
Linearity error-to above level	Absolute calibration error	Cosine error	Azimuth error	Temperature coefficient	Longterm stability	Response time voltage output	Internal resistance voltage output	Operating range	Humidity range
<0.2%	Typ. <3% 5% max	3%	<1%	±0.1%/°C	±2%	10ns	c. 650 ohms	-35 to +75 °C	0-100% RH

Πίνακας 7: Χαρακτηριστικά αισθητήρων

Οι αισθητήρες είναι συνδεδεμένοι με έναν καταγραφέα δεδομένων(Εικόνα 32) που λαμβάνει μετρήσεις κάθε δεκαπέντε δευτερόλεπτα και καταγράφει το μέσο όρο, το μέγιστο και το ελάχιστο των μετρήσεων για κάθε λεπτό.



Εικόνα 30: Αισθητήρας φωτός στο εσωτερικό του δωματίου δοκιμών



Εικόνα 31: Αισθητήρας μέτρησης εξωτερικής φωτεινότητας στην οροφή του δωματίου



Εικόνα 32: Καταγραφέας δεδομένων

Ο αισθητήρας που μετράει την εξωτερική φωτεινότητα είναι τοποθετημένος στην οροφή του δωματίου οριζόντια και καθαρίζεται τακτικά προκειμένου να μην υπάρξουν απώλειες στην επίδοση του.

Μετρητής ενέργειας: Στον ηλεκτρικό πίνακα του δωματίου είναι εγκατεστημένος ένας μετρητής που καταγράφει την κατανάλωση ενέργειας και ισχύος ανά 15 λεπτά, καθώς και τη θερμοκρασία στο χώρο των δοκιμών (Εικόνα 33).

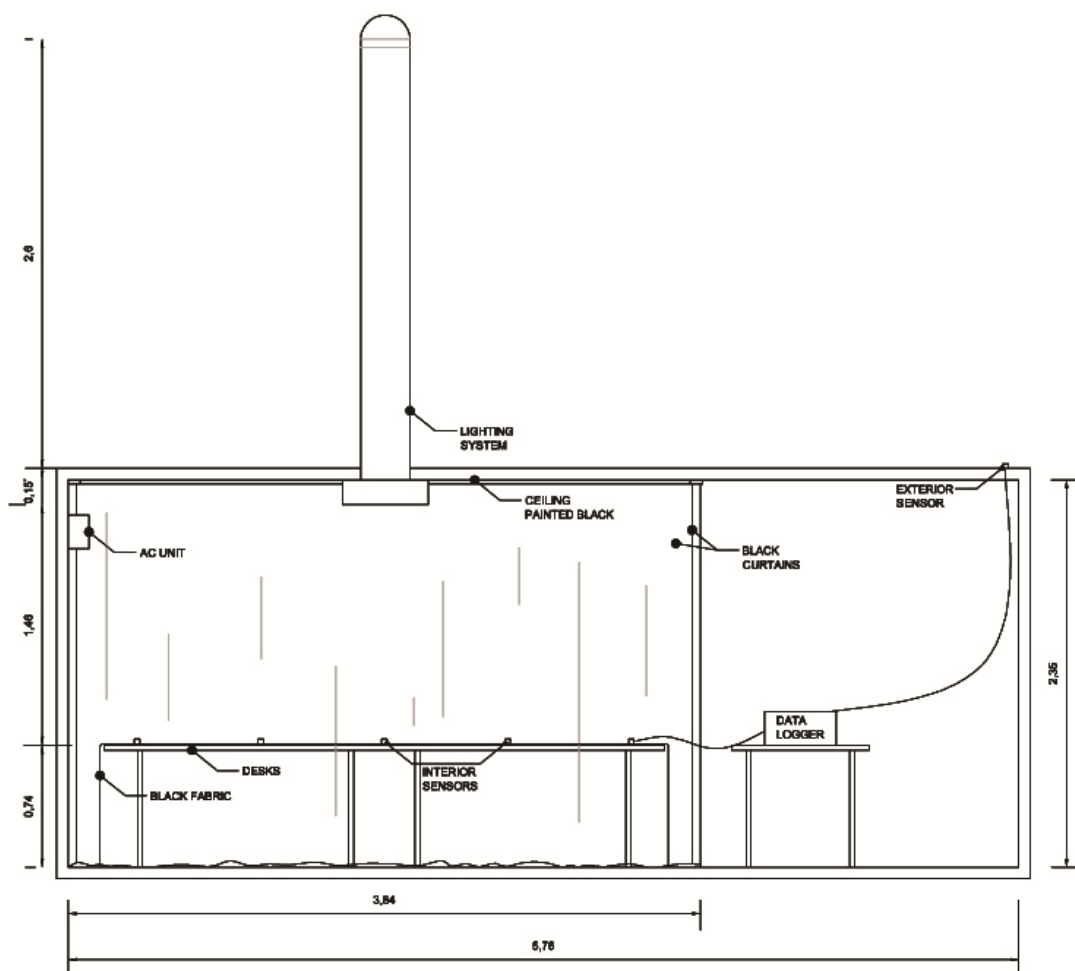
Μετρητής Λαμπρότητας: Η λαμπρότητα μετρείται με μετρητή χειρός Minolta LS-100 ο οποίος υπολογίζει το μέσο όρο για μία περιοχή μέτρησης. (Εικόνα 34)



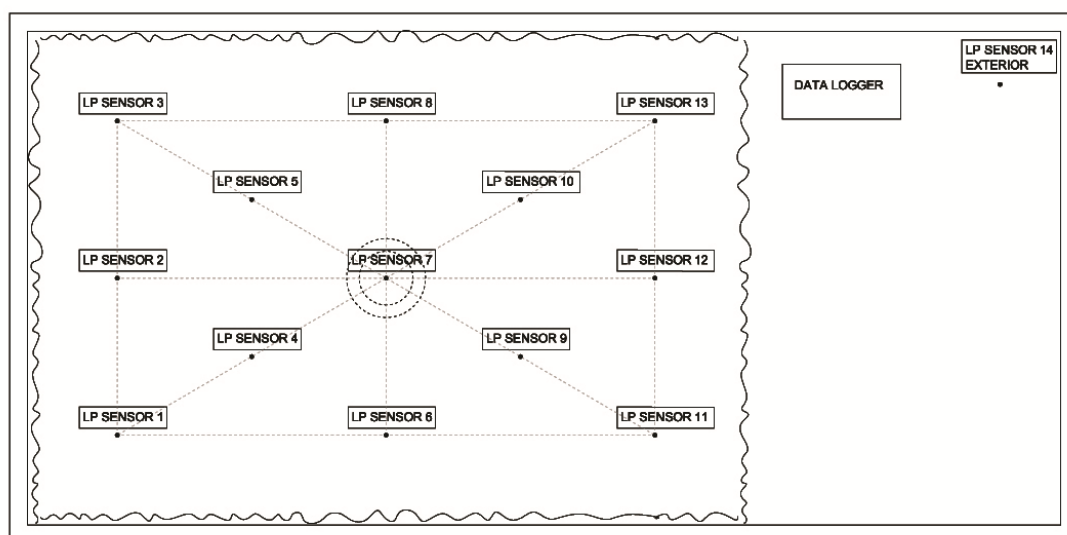
Εικόνα 33: Μετρητής ενέργειας



Εικόνα 34: Μετρητής Λαμπρότητας



Εικόνα 35: Τομή του χώρου δοκιμών



Εικόνα 36: Κάτοψη του χώρου δοκιμών

Στις παραπάνω εικόνες(Εικόνα 35, Εικόνα 36) φαίνεται η χωροθέτηση του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού και η διαμόρφωση του δωματίου δοκιμών καθώς και η κάτοψη του επιπέδου αναφοράς αντίστοιχα.

3.2.3 Εγκατεστημένο σύστημα φωτισμού

Το σύστημα φωτισμού αποτελείται από έναν φωτοσωλήνα διαμέτρου 0.30m, 8 λαμπτήρες LED και έναν αισθητήρα φωτός. Επιπλέον, μία LED λωρίδα έχει εγκατασταθεί στο εσωτερικό της περιμέτρου του σωλήνα. Το χρώμα του φωτός από τα LEDs δεν μοιάζει ικανοποιητικά με το χρώμα του φωτός της ημέρας. Αντιθέτως η ταινία των LED έχει αρκετή ομοιότητα με το φως της ημέρας.

Έχει επιλεγεί ύψος σωλήνα ίσο με 2,60m ώστε να πλησιάζει όσο τον δυνατόν περισσότερο σε πραγματικά δεδομένα ανεξάρτητα από τις διαστάσεις του δωματίου δοκιμών. Το τμήμα του φωτοσωλήνα έξω από το δωμάτιο υποστηρίχθηκε από μεταλλικούς δοκούς.

Η εγκατάσταση αυτή φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες. (Εικόνα 37, Εικόνα 38)



Εικόνα 37: Εξωτερική άποψη του εγκατεστημένου φωτοσωλήνα



Εικόνα 38: Ο διαχυτής του συστήματος φωτισμού

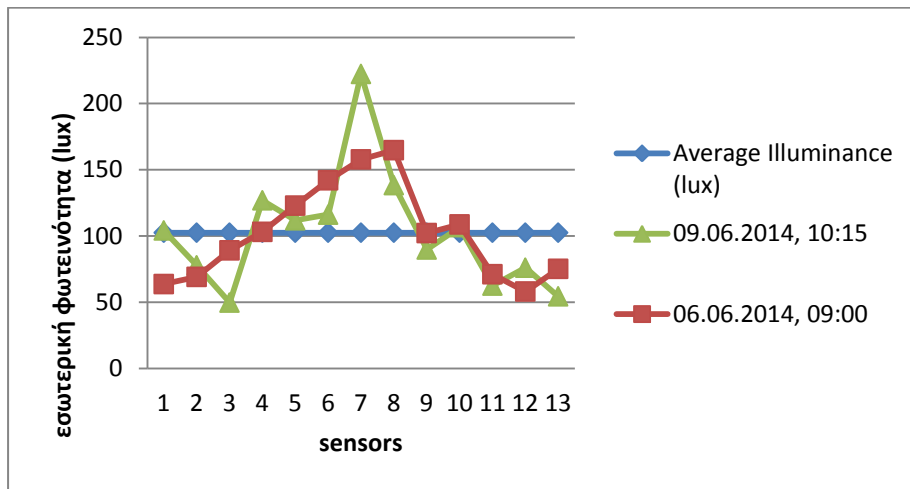
4 Αποτελέσματα

4.1 Ανάλυση και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων

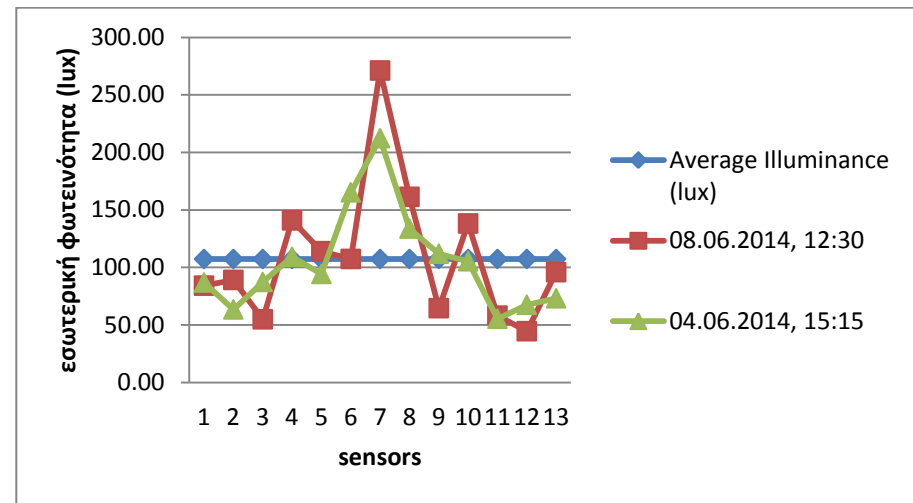
Η πειραματική διάταξη, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, βρίσκεται σε λειτουργία από τον Απρίλιο του 2014. Έτσι, τα δεδομένα που έχουν ήδη καταγραφεί είναι πολλά. Προκειμένου να υλοποιηθεί μια όσο το δυνατό λεπτομερέστερη ανάλυση στα πλαίσια της εργασίας αυτής, έχουν επιλεγεί δεδομένα δεκατριών ημερών (από 28/6/2014 ως τις 9/6/2014), τα οποία και αναλύονται, ώστε να προκύψουν συμπεράσματα για την απόδοση του εξεταζόμενου συστήματος φωτισμού, αλλά και συγκρίνονται με τα δεδομένα που προέκυψαν από την εφαρμογή του θεωρητικού υπολογιστικού εργαλείου.

Απόδοση του συστήματος και Κατανομή Φωτεινότητας (lux) στο επίπεδο αναφοράς

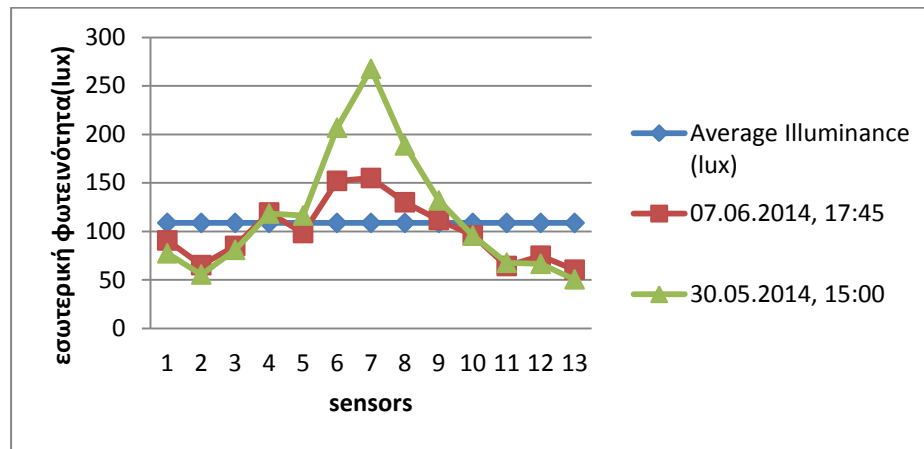
Η παράγραφος αυτή ασχολείται με την ανάλυση της κατανομής της Φωτεινότητας στο επίπεδο εργασίας, όπως αυτή καταγράφηκε από τους αισθητήρες που έχουν τοποθετηθεί στο εσωτερικό του χώρου του πειράματος. Παρακάτω εμφανίζονται σε διαγράμματα οι ενδείξεις κάθε αισθητήρα, για συγκεκριμένες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας και συγκεκριμένα για τις τιμές 35, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110 και 120 kLux. Για λόγους σύγκρισης και αξιολόγησης της επίδρασης των συνθηκών ουρανού στην κατανομή των φωτιστικών επιπέδων, ενδείξεις δύο χρονικών στιγμών με την ίδια εξωτερική Φωτεινότητα έχουν αποτυπωθεί στα διαγράμματα.



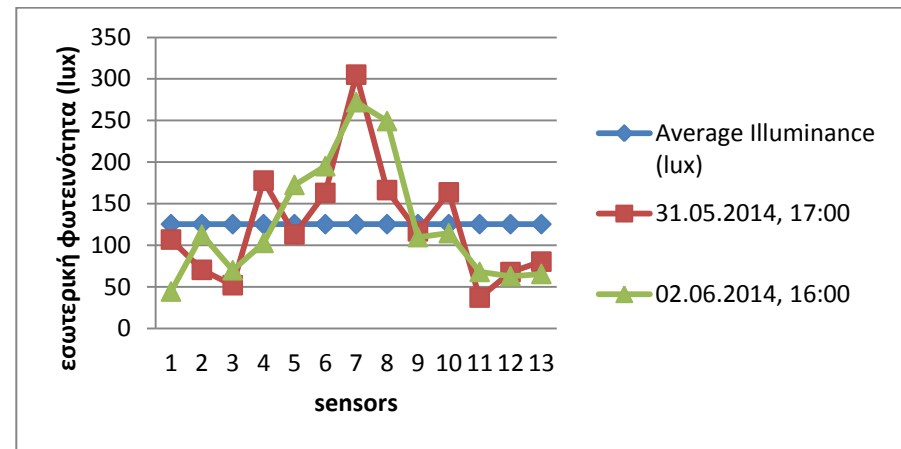
Διάγραμμα 1. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (9 και 6 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 35 kLux



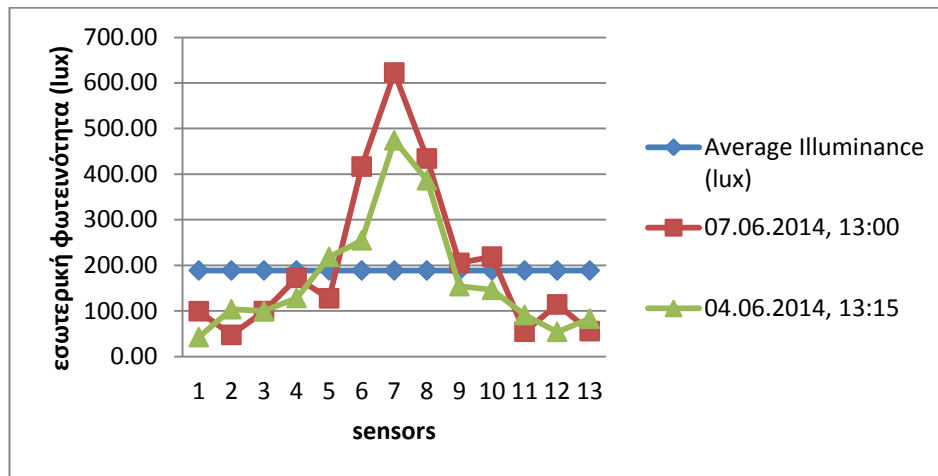
Διάγραμμα 2. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (4 και 8 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 40 kLux



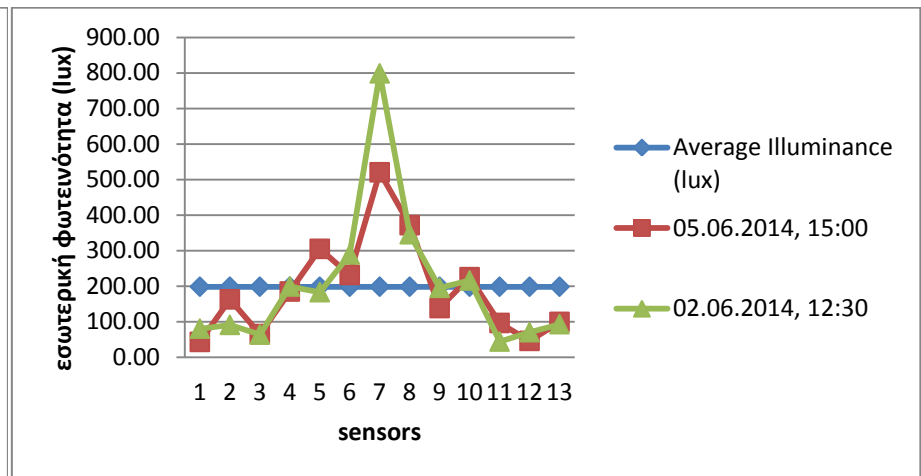
Διάγραμμα 3. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (30 Μαΐου και 7 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 50 kLux



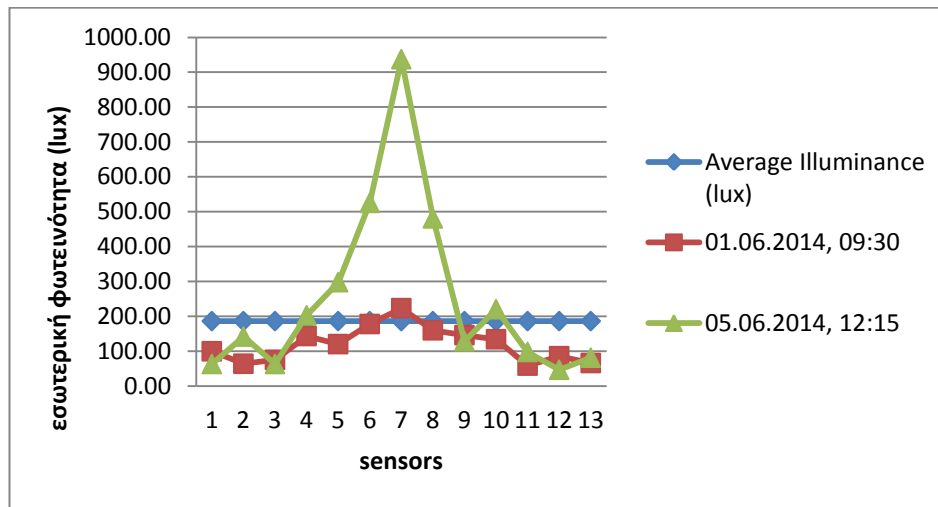
Διάγραμμα 4. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (31 Μαΐου και 2 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 60 kLux



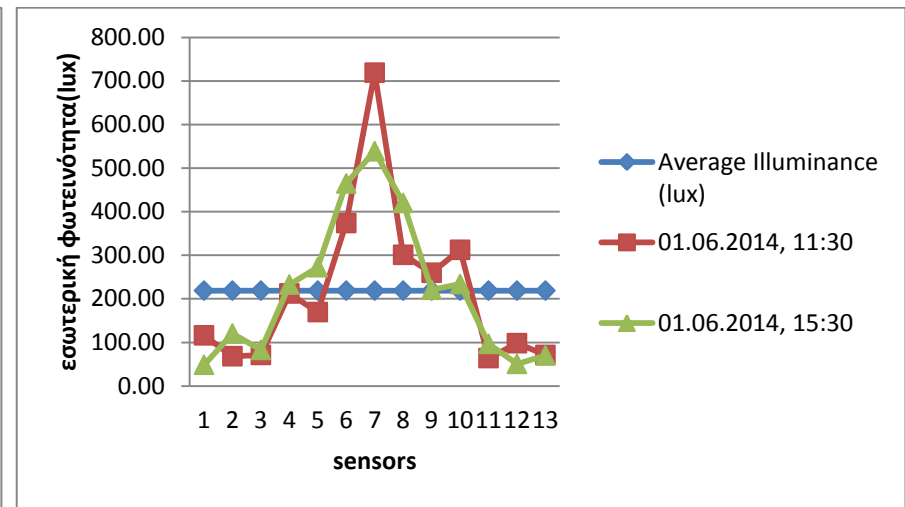
Διάγραμμα 5. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (4 και 7 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 70 kLux



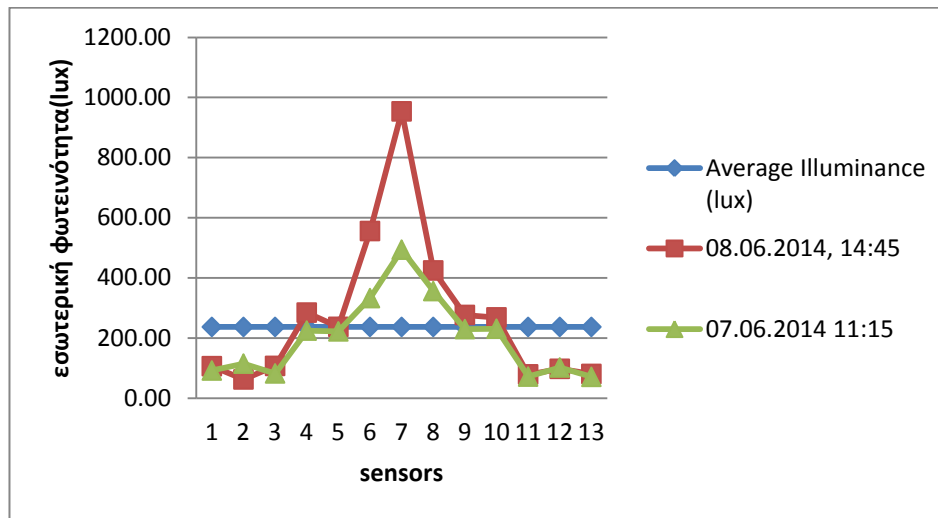
Διάγραμμα 6. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (2 και 5 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 80 kLux



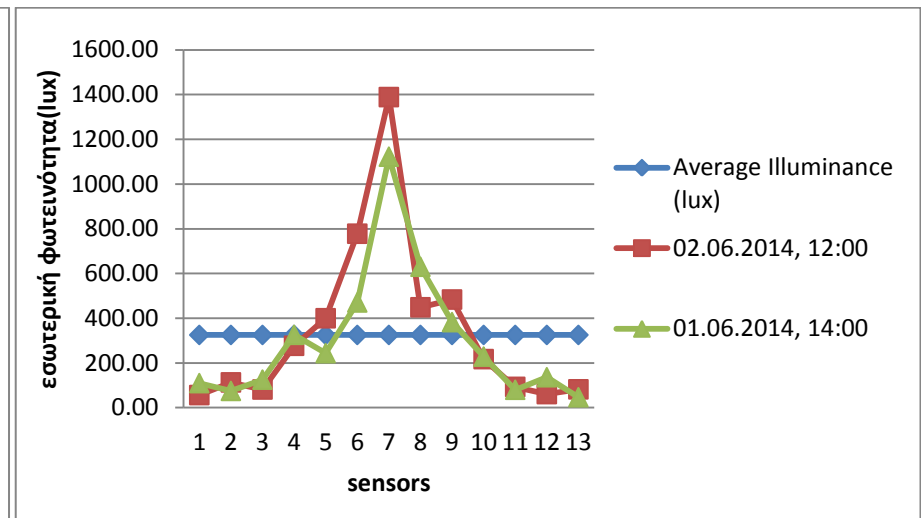
Διάγραμμα 7. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (1 και 5 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 90 kLux



Διάγραμμα 8. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές μίας ημέρας (1 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 100 kLux



Διάγραμμα 9. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (7 και 8 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 110 kLux

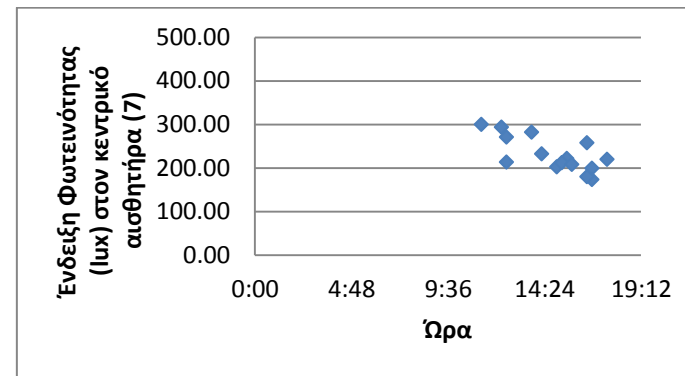
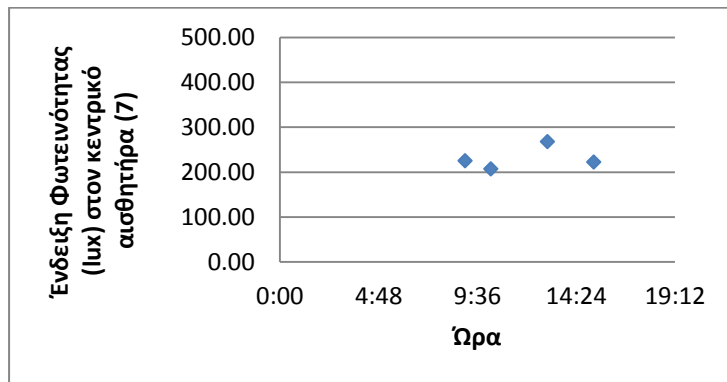


Διάγραμμα 10. Ενδείξεις Φωτεινότητας(lux) των αισθητήρων στο εσωτερικό του χώρου για χρονικές στιγμές δύο ημερών (1 και 2 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 120 kLux

Από τα παραπάνω διαγράμματα ήδη φαίνεται η σχέση της εξωτερικής φωτεινότητας με τις ενδείξεις των αισθητήρων. Αν συγκρίνουμε τα διαγράμματα θα δούμε ότι η θέση του ήλιου και η διαδρομή που ακολουθούν οι ακτίνες του μέσα στον φωτοσωλήνα πιθανόν να επηρεάζουν τις ενδείξεις των αισθητήρων. Για παράδειγμα, είναι εμφανής η διαφορά στις ενδείξεις του αισθητήρα 7 (δηλαδή του αισθητήρα ακριβώς κάτω από το σύστημα φωτισμού) στο Διάγραμμα 9. Παρά το γεγονός ότι η εξωτερική Φωτεινότητα είναι 90.000 lux και για τις δύο χρονικές στιγμές κατά τις οποίες καταγράφονται οι ενδείξεις των αισθητήρων (1/6 9:30 και 5/6 12:15) παρατηρείται ότι η ένδειξη του αισθητήρα 7 είναι στην πρώτη χρονική στιγμή 223,10 lux ενώ κατά τη δεύτερη 937,10 lux). Μια πιο προσεκτική ανάλυση των δεδομένων δείχνει πιο σαφή συσχέτισμό ανάμεσα στην ώρα της ημέρας και την Φωτεινότητα ακριβώς κάτω από το φωτοσωλήνα.

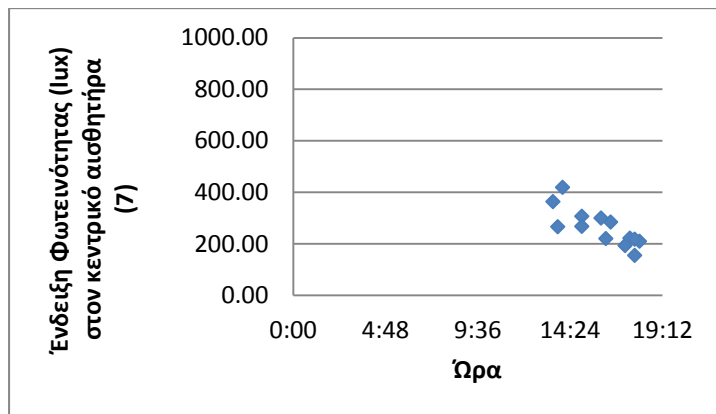
Παρατηρούμε ότι ενώ η εξωτερική φωτεινότητα είναι όμοια, οι δύο μέρες και ώρες φέρουν διαφορετικές ενδείξεις στους αισθητήρες τους. Αυτό συμβαίνει διότι αλλάζει η θέση του ήλιου και συνεπώς η γωνία πρόσπτωσης των ακτίνων του ήλιου στον συλλέκτη.

Στα επόμενα διαγράμματα εμφανίζεται η Φωτεινότητα ακριβώς κάτω από τον φωτοσωλήνα σε σχέση με την ώρα της ημέρας και για συγκεκριμένες εξωτερικές συνθήκες αντίστοιχες με αυτές των διαγραμμάτων 1-10.

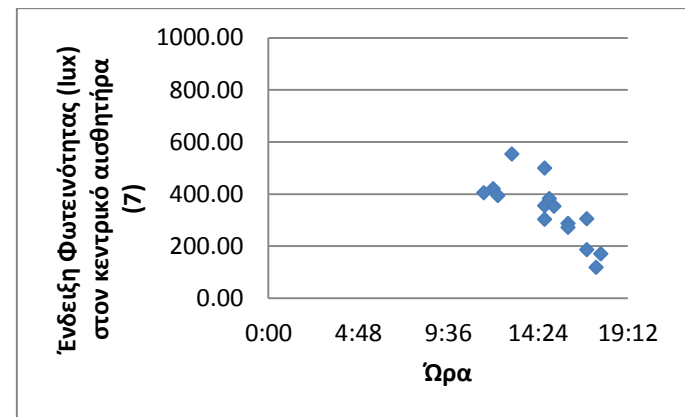


Διάγραμμα 11: Ενδείξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 35 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.

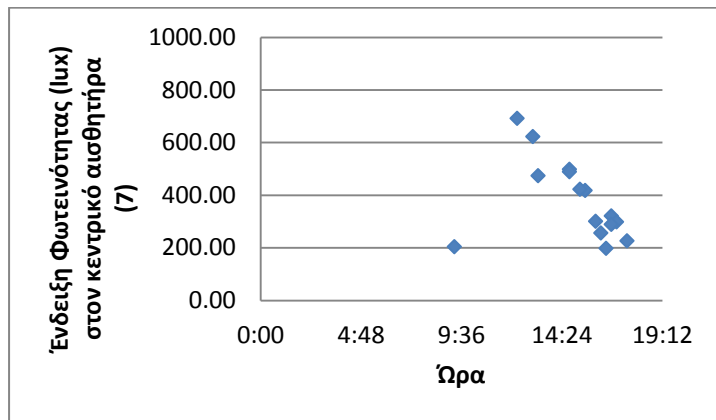
Διάγραμμα 12: Ενδείξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 40 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



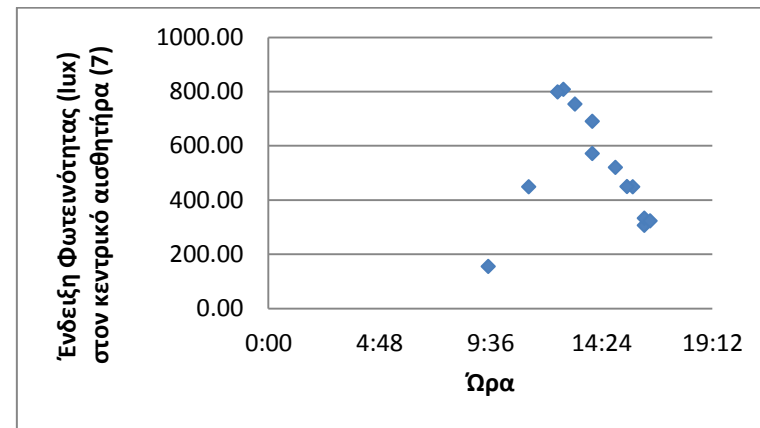
Διάγραμμα 13: Ενδείξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 50 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



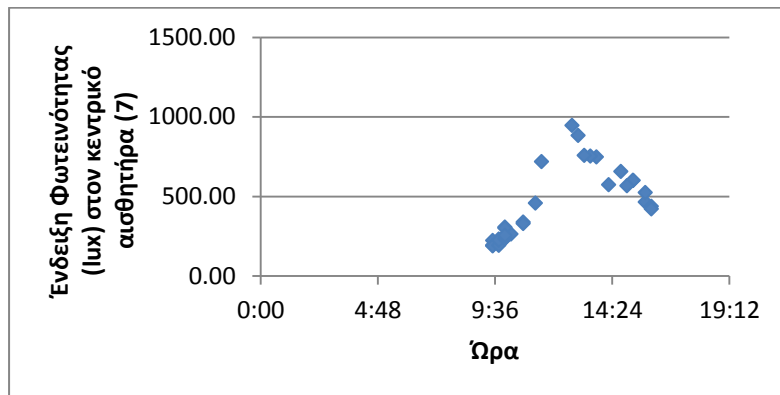
Διάγραμμα 14: Ενδείξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 60 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



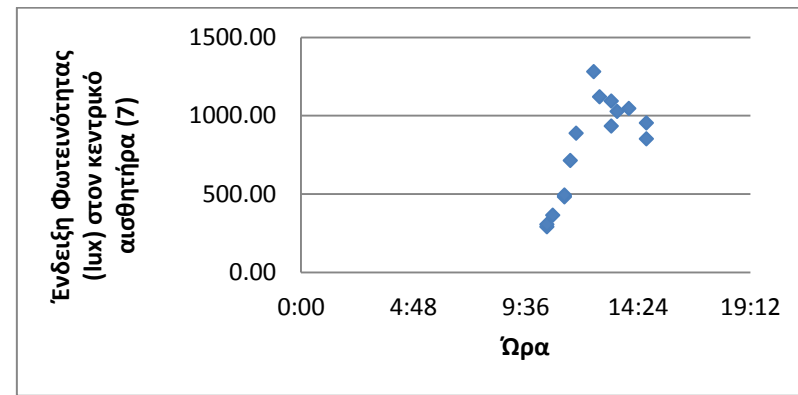
Διάγραμμα 15: . Ενδείξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 70 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



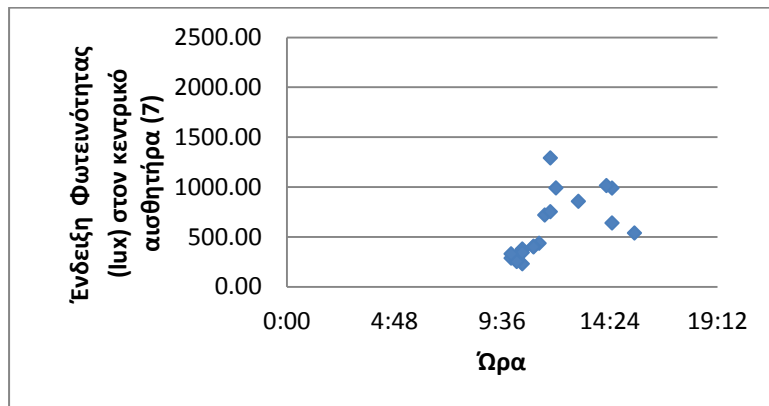
Διάγραμμα 16: . Ενδείξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 80 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



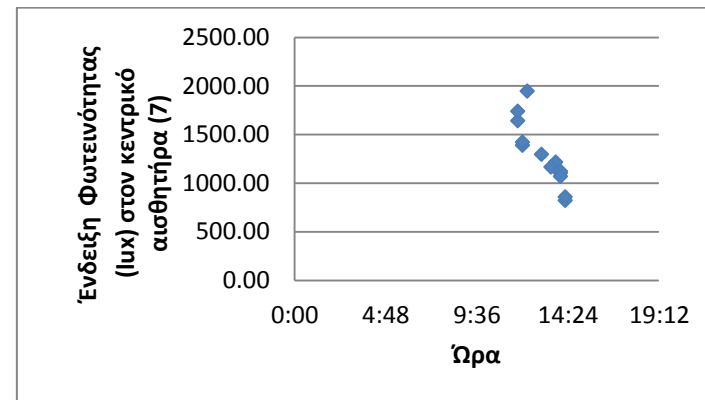
Διάγραμμα 17. Ένδειξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 90 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



Διάγραμμα 17: Ένδειξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 100 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



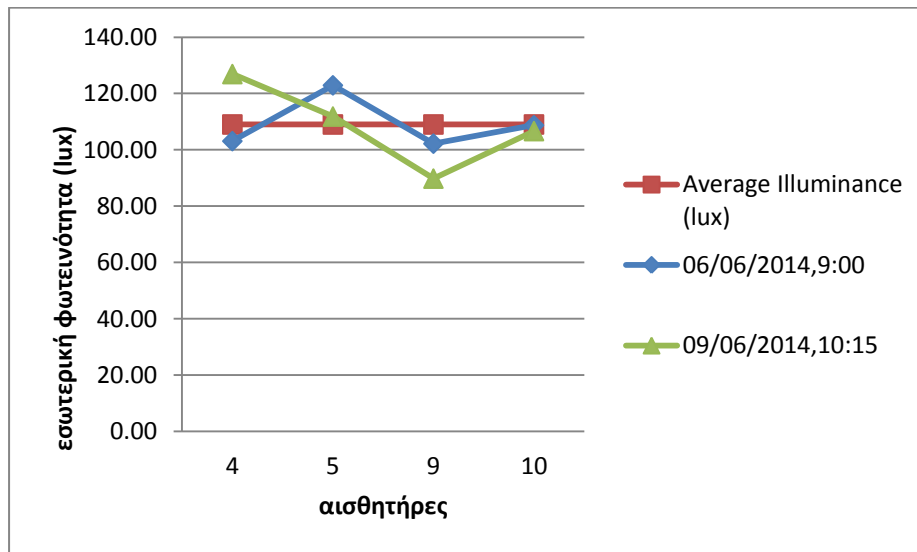
Διάγραμμα 18: Ένδειξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 110 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



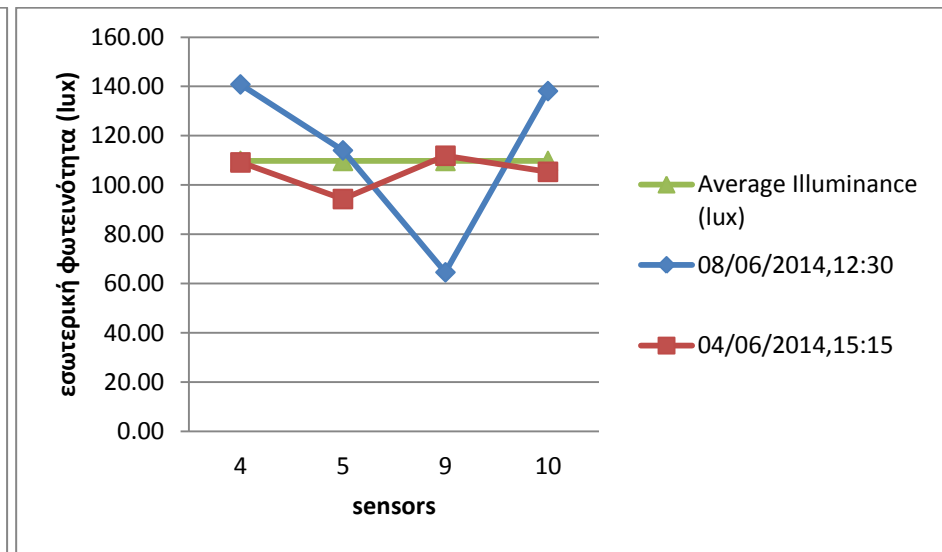
Διάγραμμα 19: Ένδειξεις Φωτεινότητας (lux) του κεντρικού αισθητήρα (No 7) σε διάφορες ώρες διαφορετικών ημερών, για εξωτερική Φωτεινότητα περίπου ίση με 120 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται, ιδίως για τις υψηλότερες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, μια σχέση των ενδείξεων του αισθητήρα με την ώρα της ημέρας. Έτσι, ενώ η εξωτερική Φωτεινότητα είναι σταθερή (π.χ. 90kLux), η ένδειξη του αισθητήρα 7 (κεντρικός αισθητήρας, ακριβώς κάτω από το σύστημα φωτισμού) είναι υψηλότερη κατά τις μεσημεριανές ώρες (από τις 12:00 ως τις 14:00) και χαμηλότερη όταν η ίδια εξωτερική Φωτεινότητα καταγράφεται νωρίτερα ή αργότερα μέσα στην ημέρα.

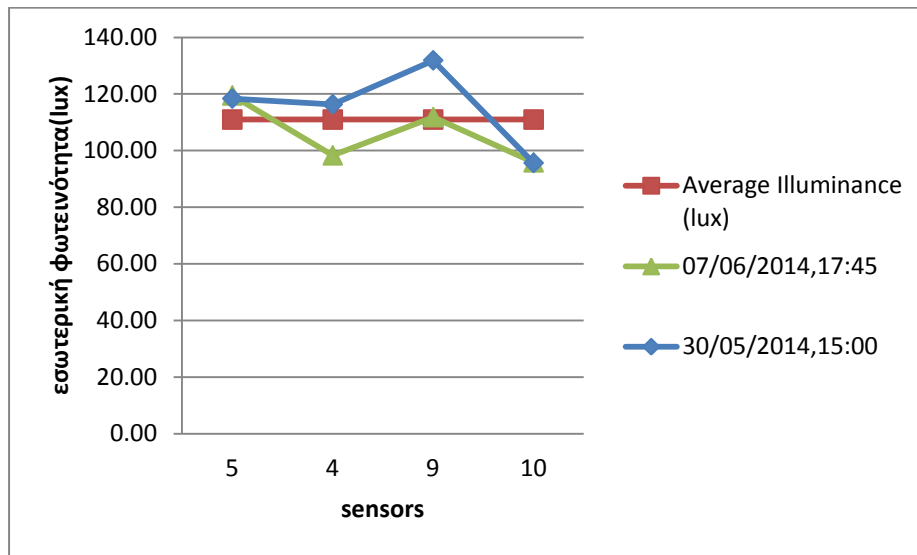
Τα διαγράμματα 1 ως 10 δείχνουν πως οι ενδείξεις των αισθητήρων 4, 5, 9 και 10, δηλαδή των αισθητήρων που αντιπροσωπεύουν χωρικά την μέση φωτιστική κατάσταση βρίσκονται πλησιέστερα στη γραμμή του μέσου όρου Φωτεινότητας που επικρατεί στο χώρο. Τα ακόλουθα διαγράμματα, στα οποία έχουν παραληφθεί οι αισθητήρες 1, 2, 3, 6, 7, 8, 11, 12 και 13 δείχνουν ότι οι ενδείξεις των υπόλοιπων αισθητήρων μπορούν από μόνες τους να δώσουν μια πολύ καλή προσέγγιση του μέσου όρου Φωτεινότητας που επικρατεί στο χώρο.



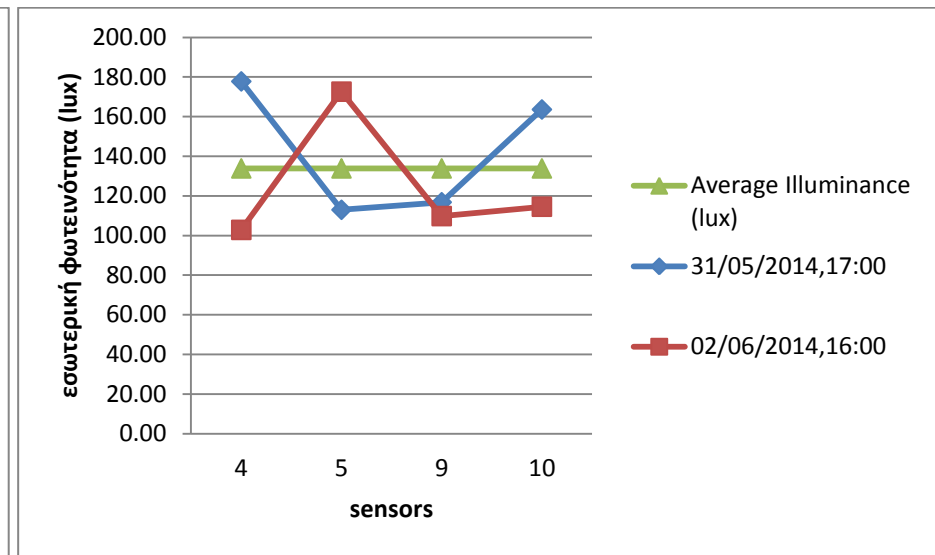
Διάγραμμα 20: Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (6 και 9 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 35 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



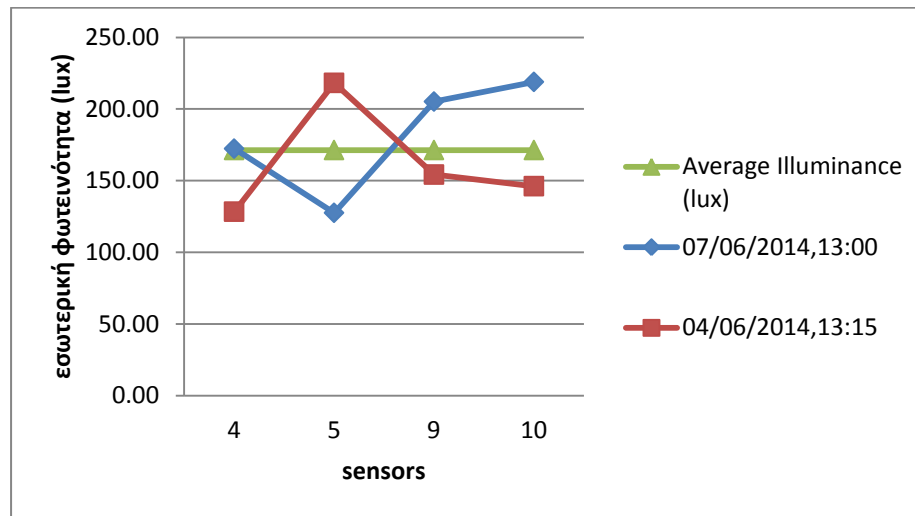
Διάγραμμα 21: Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (4 και 8 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 40 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



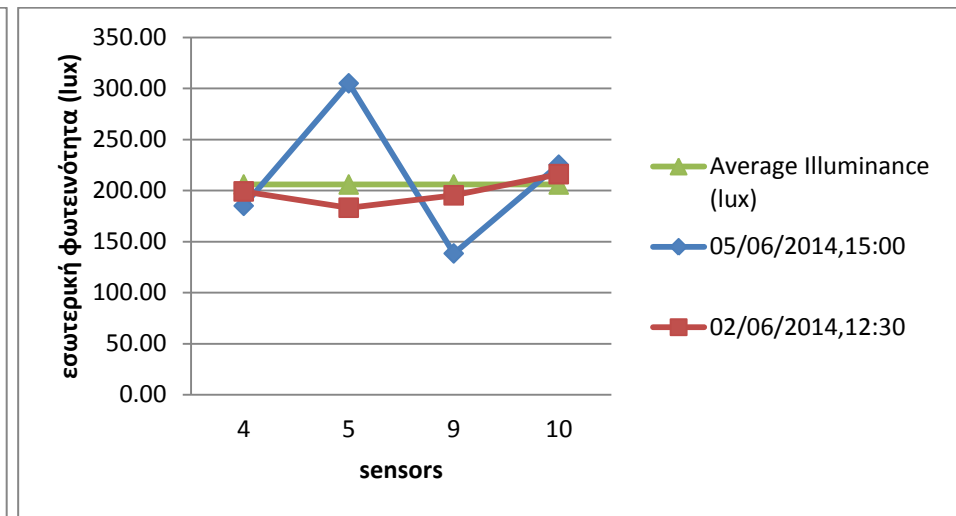
Διάγραμμα 22:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (30 Μαΐου και 7 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 50 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



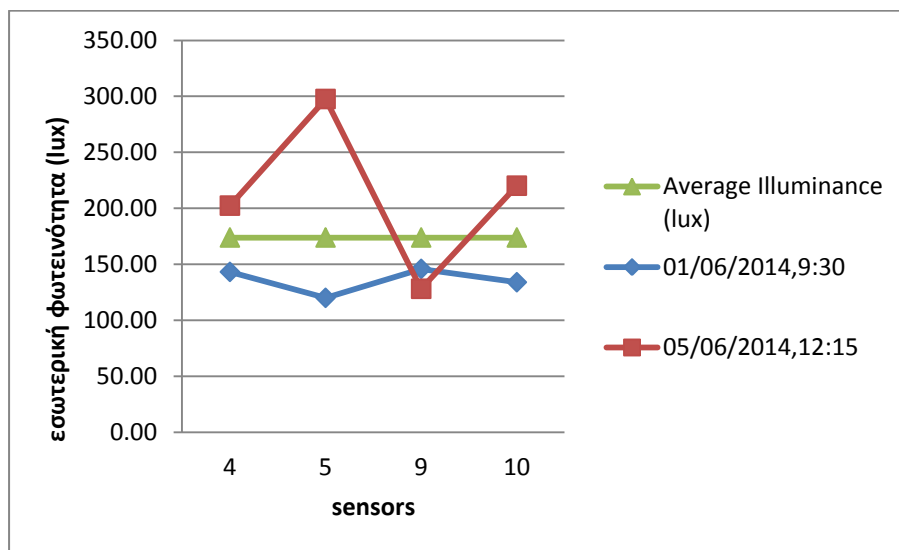
Διάγραμμα 23:.. Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10 για χρονικές στιγμές δύο ημερών (31 Μαΐου και 2 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 60 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



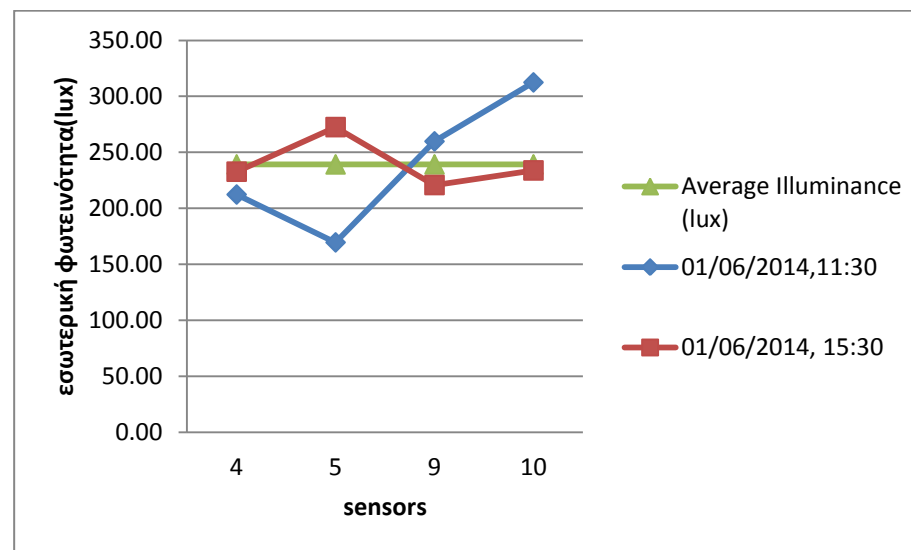
Διάγραμμα 24:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (4 και 7 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 70 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



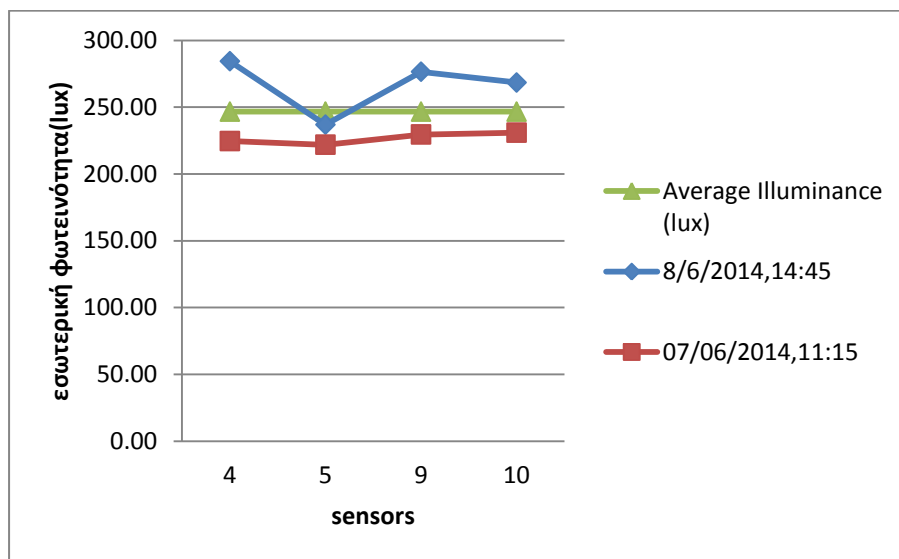
Διάγραμμα 25:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (2 και 5 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 50 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού



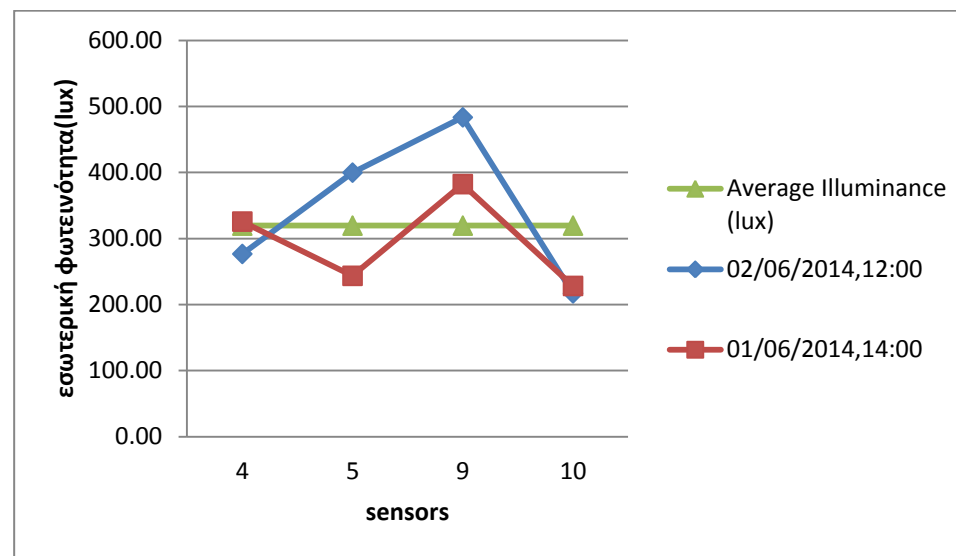
Διάγραμμα 26:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (1 και 6 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 90 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



Διάγραμμα 27:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές μίας ημέρας (1 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 100 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.



Διάγραμμα 28:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (7 και 8 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 110 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.

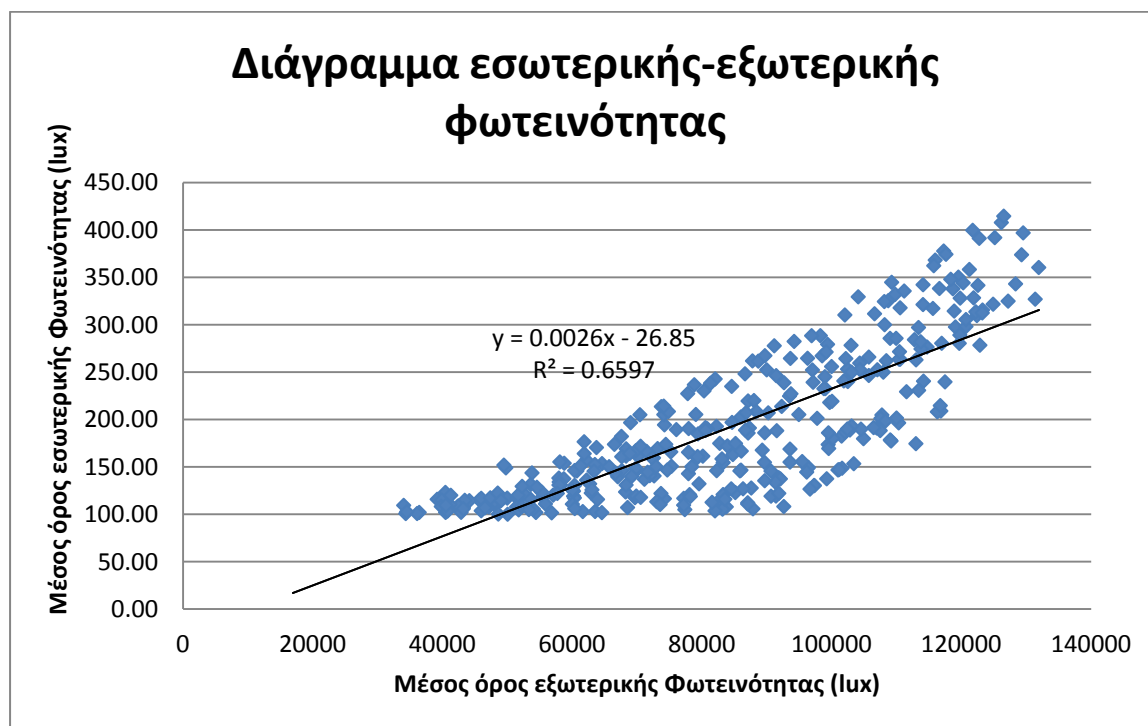


Διάγραμμα 29:Ενδείξεις Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων 4,5,9,10, για χρονικές στιγμές δύο ημερών (1 και 2 Ιουνίου) με ίσες τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας, ίσης με 120 kLux. Συνθήκες Καθαρού Ουρανού.

|

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι ο μέσος όρος της Φωτεινότητας στο χώρο δεν ξεπερνά τα 450 lux, για συνθήκες εξωτερικού φωτισμού με Φωτεινότητες από 110-120 kLux. Δεδομένου ότι ένας χώρος εργασίας απαιτεί 300-500 lux μέσης Φωτεινότητας στο επίπεδο εργασίας, θεωρείται ότι ένας φωτοσολήνας, των χαρακτηριστικών του πειραματικού συστήματος, μπορεί να οριακά να παρέχει επαρκή επίπεδα φωτός σε χώρο διαστάσεων όμοιων με αυτές της επιφάνειας στην οποία πραγματοποιούνται μετρήσεις.

Η ένταση της εξωτερικής φωτεινότητας δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τη διακύμανση της φωτεινότητας που δέχονται οι αισθητήρες 1-5 και 9-13 (αισθητήρες που βρίσκονται σχετικά μακριά από την πηγή φωτός, **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**) καθώς για αρκετά μεγάλες διακυμάνσεις της εξωτερικής φωτεινότητας, οι εσωτερικές διαφορές κυμαίνονται στα 20-30 lux, στους αισθητήρες που προαναφέρθηκαν.



Διάγραμμα 30: Μέσος όρος ενδείξεων Εσωτερικής Φωτεινότητας (lux) των αισθητήρων για την αντίστοιχη Εξωτερική Φωτεινότητα

Στο τελευταίο διάγραμμα (Διάγραμμα 30) φαίνεται η σχέση της εξωτερικής φωτεινότητας με τον μέσο όρο της εσωτερικής φωτεινότητας. Για μικρές τιμές της εξωτερικής φωτεινότητας, οι τιμές του μέσου όρου της εσωτερικής προσεγγίζονται καλύτερα από μία βέλτιστη ευθεία. Από τα διαθέσιμα δεδομένα η μέση εσωτερική φωτεινότητα υπολογίζεται περίπου 0,23% της εξωτερικής Φωτεινότητας.

4.2 Σύγκριση των αποτελεσμάτων της εφαρμογής του υπολογιστικού εργαλείου (μέθοδοι TTE-Luxplot και TTE-προσομοιώσεις) με τα πειραματικά δεδομένα

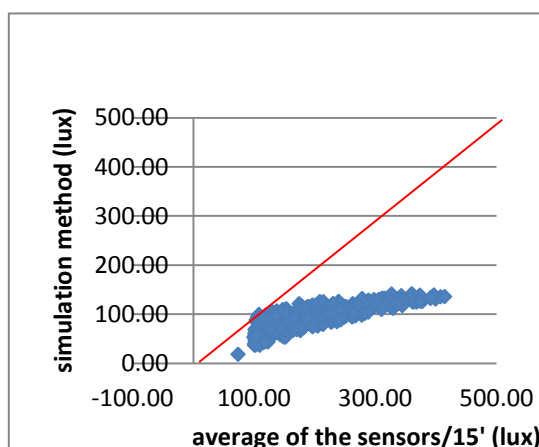
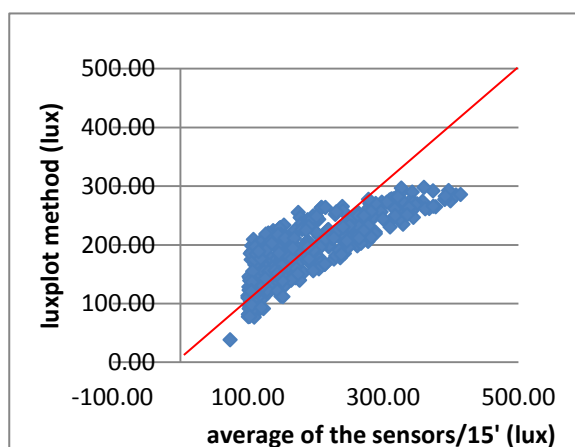
Το εργαλείο που έχει αναπτυχθεί από το Πανεπιστήμιο Αθηνών είναι σε θέση να υπολογίσει την απόδοση του φωτοσωλήνα, όπως περιγράφεται από τη μέση τιμή φωτεινότητας (lux) στο επίπεδο αναφοράς για κάθε διαφορετική τιμή εξωτερικής Φωτεινότητας.

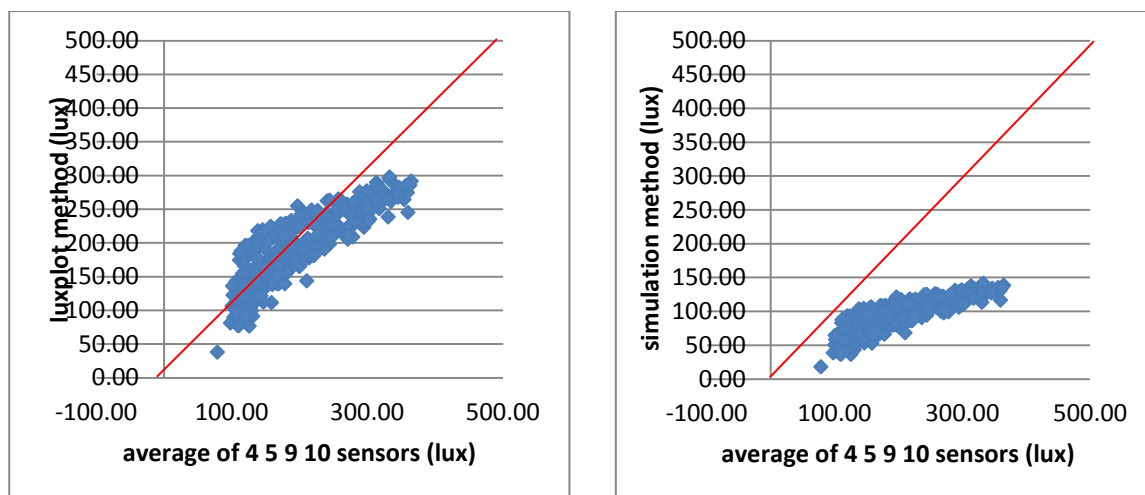
Το πείραμα που διεξάγεται στο Πανεπιστήμιο Αθηνών επιτρέπει τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από την εφαρμογή του εργαλείου αυτού με τα δεδομένα που προέρχονται από το πείραμα, με την εισαγωγή των εξωτερικών φωτιστικών συνθηκών, μετρημένων από τον αντίστοιχο εξωτερικό αισθητήρα.

Ο ακόλουθος πίνακας δίνει μια σύνοψη των δεδομένων εισόδου στο υπολογιστικό εργαλείο.

Χαρακτηριστικό πειραματικής διάταξης	Μέγεθος
Διάμετρος φωτοσωλήνα	0,30μ
Ύψος φωτοσωλήνα	2,77μ
Ανακλαστικότητα σωλήνα	0,98
Μήκος δωματίου	3,61μ
Πλάτος δωματίου	1,86μ
Απόσταση διαχυτή-επιφάνειας εργασίας	1,61μ
TTE	0,845
tc	0,75
MF	0,84

Πίνακας 8: Δεδομένα εισόδου στο φύλλο εργασίας





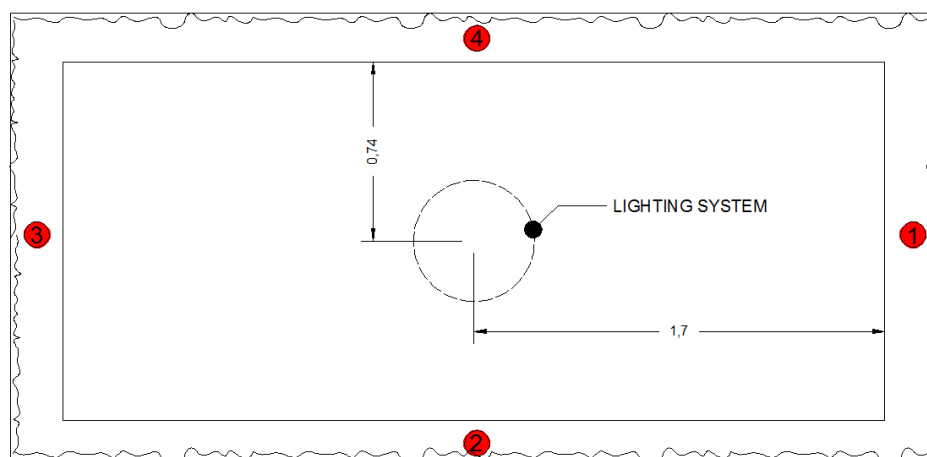
Πίνακας 9: Συγκριτικά διαγράμματα των δύο μεθόδων με τα πειραματικά δεδομένα. Αριστερά η μέθοδος luxplot και δεξιά η μέθοδος προσομοιώσεων για διαφορετικά σεντ αισθητήρων.

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι η μέθοδος Luxplot είναι πιο έγκυρη από αυτήν της προσομοίωσης εφόσον τα πειραματικά δεδομένα προσεγγίζουν καλύτερα τη βέλτιστη ευθεία.

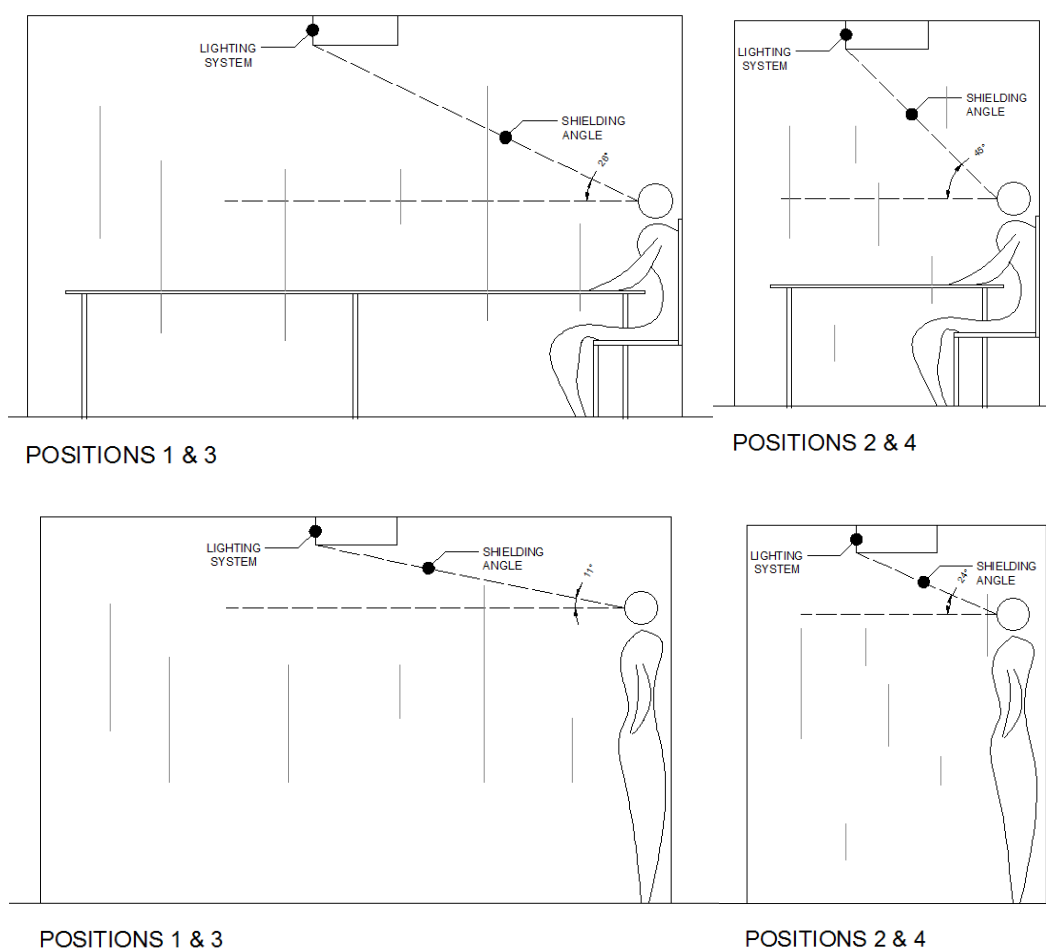
1. Ο μέσος όρος Φωτεινότητας με τη Luxplot προσεγγίζει αρκετά ικανοποιητικά τη βέλτιστη ευθεία. Όπως φαίνεται στα αριστερά διαγράμματα του Πίνακας 9, τα δεδομένα του μέσου όρου της εσωτερικής φωτεινότητας προσεγγίζουν την ευθεία της μεθόδου περισσότερο σε σχέση με την ευθεία των προσομοιώσεων.
2. Καλύτερη είναι η προσέγγιση όταν τα αποτελέσματα της Luxplot συγκρίνονται με το μέσο όρο των ενδείξεων των αισθητήρων που αντιπροσωπεύουν το χωρικό μέσο. Όπως φαίνεται στα τελευταία δύο διαγράμματα, οι πειραματικές ενδείξεις των αισθητήρων 4, 5, 9 και 10 συμπίπτουν περισσότερο με τα αποτελέσματα και των δύο μεθόδων.
3. Η θεωρητική μέθοδος που κάνει χρήση προσομοιώσεων σταθερά υποεκτιμά τα αποτελέσματα, με όποιες πειραματικές ενδείξεις και αν συγκριθεί.

4.3 Μέτρηση της Λαμπρότητας και αξιολόγηση φαινομένων θάμβωσης

Οι μετρήσεις Λαμπρότητας διεξήχθησαν στην αίθουσα δοκιμών κατά τη διάρκεια μίας ημέρας με καθαρό ουρανό, πολύ υψηλή εξωτερική ένταση φωτισμού, υψηλή φωτεινότητα μέσα στο δωμάτιο (με τα LED αναμμένα σε πλήρη ισχύ). Τα σημεία από τα οποία ελήφθησαν μετρήσεις (με το χρήστη να κάθεται και να στέκεται) φαίνονται στην **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε..**



Εικόνα 39: Θέσεις από όπου μετρήθηκε η λαμπρότητα μέσα στο δωμάτιο.



Εικόνα 40: Θέση του παρατηρητή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων

Θέση	Eex (lux)	Eav-int (lux)	L (cd/m ²)	Γωνία αποφυγής θάμβωσης (Shielding angle) σε (°)	Συνιστώμενη γωνία αποφυγής θάμβωσης (°)
1 – όρθιος	116,028	340,37	1,980	11	≥10
1 – καθιστός			9,223	28	
2 – όρθιος	116,604	339,86	3,961	24	
2 – καθιστός			6,134	45	
3 – όρθιος	116,990	323,54	1,224	11	
3 – καθιστός			2,330	28	
4 – όρθιος	116,471	347,76	2,912	24	
4 - καθιστός			5,528	45	

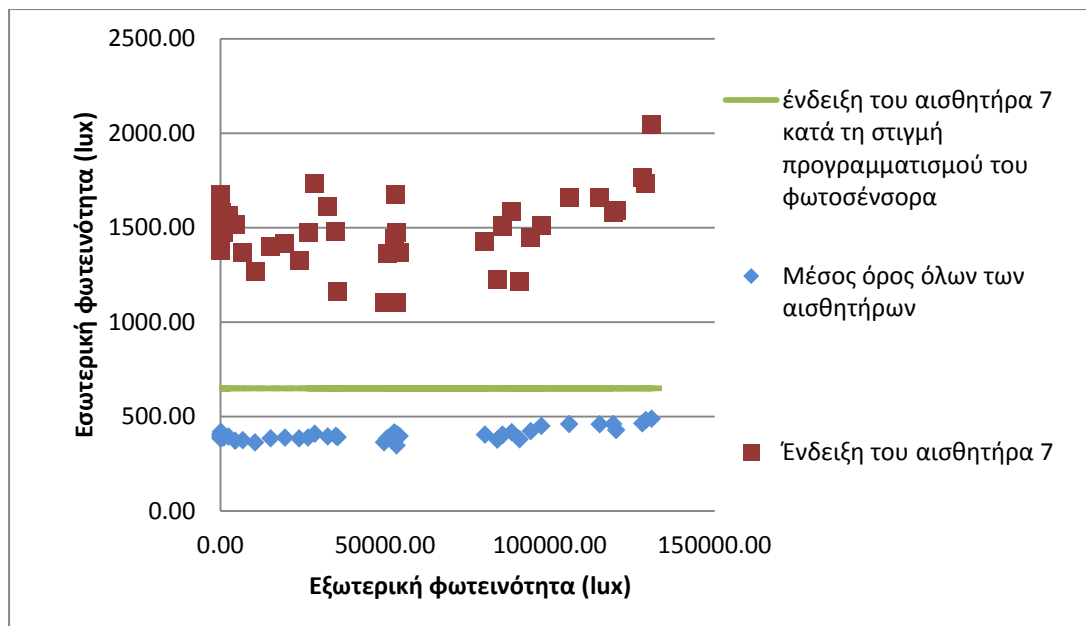
Πίνακας 10: Ενδείξεις από τη μέτρηση της φωτεινότητας

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων Λαμπρότητας δείχνουν πως δεν είναι πιθανό να προκληθούν προβλήματα θάμβωσης και οπτικής δυσφορίας υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες που έχουν διαμορφωθεί στο δωμάτιο δοκιμών και για τις γωνίες θωράκισης που επιλέχτηκαν. Αυτό συμβαίνει γιατί οι γωνίες αποφυγής θάμβωσης που προκύπτουν είναι σε κάθε περίπτωση μεγαλύτερες από τη συνιστώμενη τιμή (10°) για το συγκεκριμένο εύρος των καταγεγραμμένων Λαμπροτήτων.

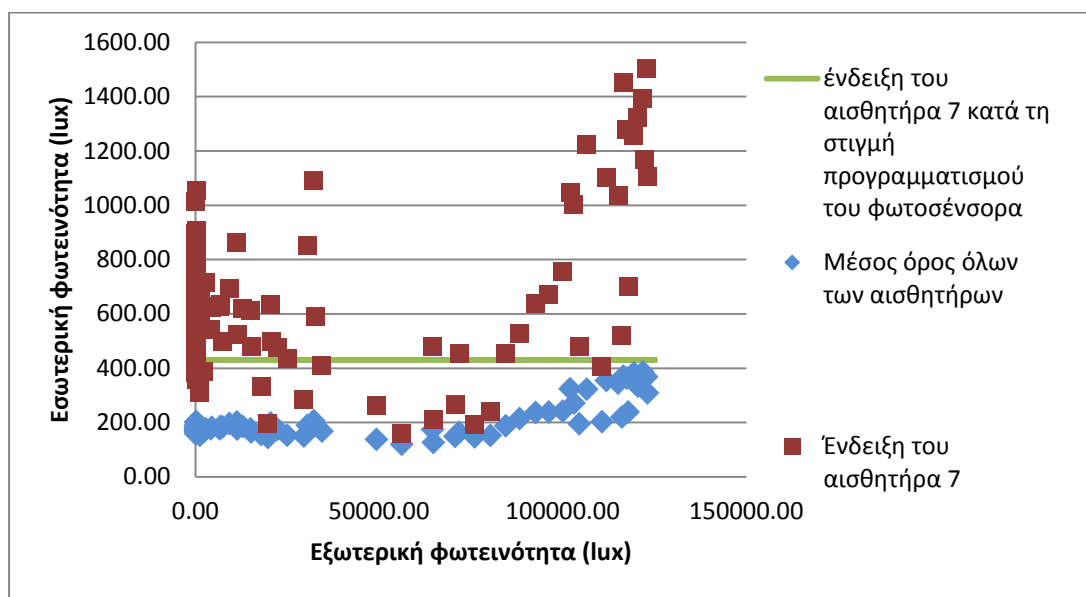
4.4 Συνδυασμός φυσικού και τεχνητού φωτός

Όταν τα επίπεδα φυσικού φωτός στο επίπεδο αναφοράς του χώρου όπου διεξάγεται το πείραμα είναι κάτω από τα επιθυμητά, όπως αυτά ορίζονται από τους χρήστες του χώρου και αποθηκεύονται από το φωτο-σένσορα, τα LEDs ενεργοποιούνται και μέσω του dimmable controller η έντασή τους ρυθμίζεται ώστε να επιτευχθεί ο επιθυμητός φωτισμός.

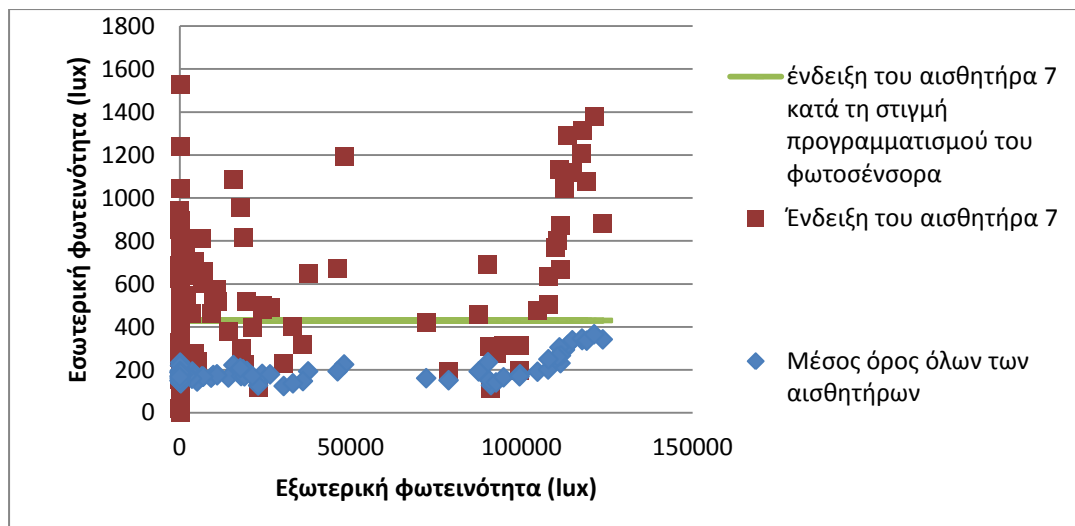
Το κάθε ένα από τα ακόλουθα διαγράμματα παρουσιάζει τον μέσο όρο Φωτεινότητας στο επίπεδο αναφοράς, όπως αυτός καταγράφηκε από το σύνολο των αισθητήρων στο πείραμα, για ένα 24ωρο. Στο χώρο δοκιμών πραγματοποιούνται δραστηριότητες που επηρεάζουν το επιθυμητό επίπεδο φωτισμού καθώς και τα επίπεδα της ενέργειας που καταναλώνεται λόγω διάφορων δραστηριοτήτων (ενεργοποίηση λαμπτήρων LED, LEDοταινίας ή ενεργοποίηση κλιματισμού), οπότε οι αντίστοιχες χρονικές στιγμές-μετρήσεις έχουν εξαιρεθεί. Η LEDοταινία είναι ενεργοποιημένη από 10/06/2014 (αρχή των μετρήσεων) έως και 17/06/2014 στις 11:30. Έτσι, στα τρία πρώτα διαγράμματα, συμπεριλαμβάνεται και η επίδραση της LEDοταινίας.



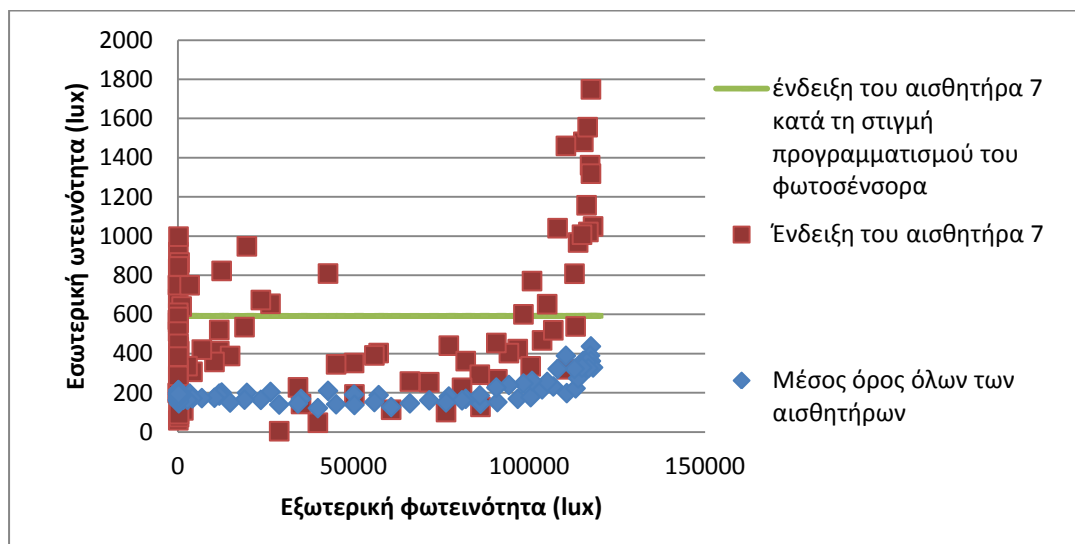
Διάγραμμα 31: Εξωτερική φωτεινότητα σε σχέση με την ένδειξη του αισθητήρα No 7, του μέσου όρου όλων των αισθητήρων για ρύθμιση στα 650 lux, στις 10/06/2014.



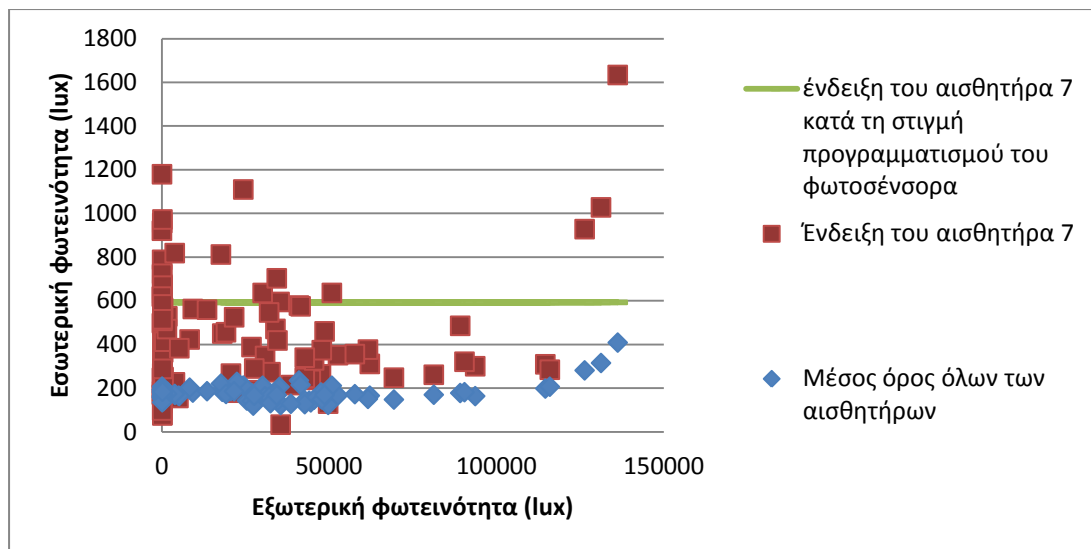
Διάγραμμα 32: Εξωτερική φωτεινότητα σε σχέση με την ένδειξη του αισθητήρα No 7, του μέσου όρου όλων των αισθητήρων για ρύθμιση στα 430 lux, στις 12/06/2014.



Διάγραμμα 33:Εξωτερική φωτεινότητα σε σχέση με την ένδειξη του αισθητήρα No 7, του μέσου όρου όλων των αισθητήρων για ρύθμιση στα 430 lux,στις 15/06/2014.



Διάγραμμα 34:Εξωτερική φωτεινότητα σε σχέση με την ένδειξη του αισθητήρα No 7, του μέσου όρου όλων των αισθητήρων για ρύθμιση στα 593 lux,στις 26/06/2014.



Διάγραμμα 35: Εξωτερική φωτεινότητα σε σχέση με την ένδειξη του αισθητήρα No 7, του μέσου όρου όλων των αισθητήρων για ρύθμιση στα 593 lux, στις 17/07/2014.

Τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα παραπάνω διαγράμματα, είναι:

- Για διαφορετικές τιμές εξωτερικής Φωτεινότητας ο μέσος όρος της εσωτερικής Φωτεινότητας παραμένει σχεδόν σταθερός, εκτός από τις συνθήκες κατά τις οποίες η εξωτερική Φωτεινότητα είναι πολύ υψηλή. Αυτό θεωρείται αρκετά σημαντικό καθώς η ομοιογένεια στα επίπεδα του φωτός μέσα στο δωμάτιο αποτελεί παράγοντα που καθορίζει την ποιότητά του.
- Η ένδειξη του αισθητήρα κάτω ακριβώς από τον διαχυτή, κατά τη στιγμή προγραμματισμού του φωτο-σένσора (δηλαδή κατά τη στιγμή που αποθηκεύονται οι φωτιστικές συνθήκες από τη συσκευή) δεν είναι αντιπροσωπευτική για τα επίπεδα φωτισμού στον υπόλοιπο χώρο. Έτσι, ο προγραμματισμός του φωτο-σένσора πρέπει να γίνεται κατόπιν πολλαπλών δοκιμών, αν συγκεκριμένα επίπεδα πρέπει να επιτευχθούν στο επίπεδο αναφοράς,.
- Η ένδειξη του αισθητήρα 7 έχει μεγαλύτερες διακυμάνσεις σε σχέση με τον μέσο όρο όλων των αισθητήρων μαζί, καθώς αυτός ο αισθητήρας βρίσκεται ακριβώς κάτω από το διαχυτή.

4.5 Υπολογισμός εξοικονόμησης ενέργειας για τεχνητό φωτισμό

Το δεύτερο αποτέλεσμα που απορρέει από την εξέταση του συστήματος που κάνει χρήση του τεχνητού φωτισμού οφείλει να είναι ο υπολογισμός της ενέργειας που καταναλώνουν τα LEDs (με ή χωρίς τη LEDοταινία) καθώς και η εξοικονόμηση ενέργειας που προκύπτει από τη χρήση αυτών σε σχέση με ισάριθμο πλήθος λαμπτήρων πυρακτώσεως. Ο έλεγχος μέσω ενός φωτο-σένσора, ο οποίος αντιλαμβάνεται τα υπάρχοντα επίπεδα φωτός στο χώρο και αυξομειώνει την ένταση των πηγών τεχνητού φωτισμού μέσω ενός ροοστάτη (dimmer) επιτρέπει τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω της μείωσης της έντασης των LED, χρησιμοποιώντας μέρος της ενέρ-

γειας των λαμπτήρων, αντί να χρησιμοποιεί όλη την ένταση τους, όταν δεν είναι απαραίτητο.

Το σύστημα που έχει κατασκευαστεί και δοκιμαστεί έχει 8 λάμπες, κάθε μία από 7,5Watts. Σε μερικές από τις μετρήσεις που έχουν γίνει συμμετέχει μία λωρίδα LED για, την οποία προστίθενται 12 Watts στο σύστημα. Η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος των λαμπτήρων, έχει ισχύ εξόδου 0-80 Watts, ανάλογα με τη λειτουργία.

Προκειμένου να εξαχθεί συμπέρασμα για την εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιφέρει η χρήση του συστήματος του φωτισωλήνα με τα LEDs και το φωτοσένσορα, η κατανάλωσή του θα πρέπει να συγκριθεί με αυτή άλλων συστημάτων. Τα συστήματα σε σύγκριση, είναι: α. το πειραματικό σύστημα, β. ένα θεωρητικό συμβατικό σύστημα (λαμπτήρες πυράκτωσης) χωρίς τη χρήση φωτο-σένσορα και γ. ένα θεωρητικό σύστημα με LEDs ίδιας ισχύος με την πειραματική διάταξη, αλλά χωρίς την ανίχνευση της ημέρας και τη λειτουργία dimming.

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 11. Το συμβατικό σύστημα θεωρείται ότι έχει 7 φορές υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ από το δοκιμαζόμενο σύστημα.

Οι θεωρητικοί υπολογισμοί έχουν γίνει, πολλαπλασιάζοντας την ισχύ όλων των λαμπτήρων με τις ώρες κατά τις οποίες ο τεχνητός φωτισμός στο πείραμα ήταν ενεργοποιημένος, σύμφωνα με τις καταγραφές του μετρητή ενέργειας. Η εγκατεστημένη ισχύς του συμβατικού συστήματος(σύστημα 1) έχει είτε 420 Watts ($7,5 \text{ Watts} \times 8 \text{ λάμπες} \times 7$ για τους συμβατικούς λαμπτήρες), σε σύγκριση με το δοκιμασμένο σύστημα χωρίς LEDοταινία, ή 504 Watts ($[(7,5 \text{ Watts} \times 8 \text{ λάμπες}) + 12 \text{ Watts για την ταινία}] \times 7$ για τους συμβατικούς λαμπτήρες), σε σύγκριση με το σύστημα με τη LEDοταινία. Το θεωρητικό σύστημα με τα LEDs(σύστημα 2), έχει την ίδια εγκατεστημένη ισχύ όπως το πειραματικό σύστημα, χωρίς να υπολογίζεται η ισχύς του μετασχηματιστή.

Ημερομηνία	Ισχύς (Watt)	Ωρες λειτουργίας τεχνητού φωτός	Κατανάλωση χωρίς day-light sensor (kWatthr)	Κατανάλωση πειραματικού συστήματος (kWatthr)	Εξοικονόμηση ενέργειας πειραματικού συστήματος σε σχέση με το σύστημα 2 (%)	Κατανάλωση συστήματος 1 (kWatthr)	Εξοικονόμηση ενέργειας πειραματικού συστήματος σε σχέση με το σύστημα 1 (%)
12-Ιουν	72	16,5	1,2	0,67	92	8,4	44,2
16-Ιουν	72	15	1,1	0,6	92,2	7,7	45,5
26-Ιουν	60	15,25	0,92	0,61	90,5	6,44	33,7
2-Ιουλ	60	14,5	0,87	0,58	90,5	6,09	33,3
13-Ιουλ	60	15	0,9	0,6	90,5	6,3	33,3
18-Ιουλ	60	15,75	0,95	0,63	90,5	6,65	33,7
Μέσοι Όροι					91		37,3

Πίνακας 11: Κατανάλωση και εξοικονόμηση ενέργειας

Από τον Πίνακα 11 παρατηρείται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας όπως ήταν αναμενόμενο από τη χρήση ίσου αριθμού λαμπτήρων πυρακτώσεως.

Η εξοικονόμηση ενέργειας που επιτυγχάνεται λόγω αντικατάστασης των λαμπτήρων πυρακτώσεως είναι 91% και λόγω της χρήσης του φωτο-σένσορα 37,3%.

5 Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις

Στην εργασία αυτή περιγράφεται και εξετάζεται το καινοτόμο σύστημα φωτισμού ενός φωτοσωλήνα με LEDs και συστήματα ελέγχου που αξιοποιούν το διαθέσιμο φυσικό φως. Παράλληλα, συγκρίνεται η απόδοση του συστήματος, που σχετίζεται με την παροχή φυσικού φωτός, όπως προκύπτει από μια θεωρητική υπολογιστική μέθοδο με πειραματικά δεδομένα.

Το πειραματικό κομμάτι του καινοτόμου αυτού συστήματος έχει εγκατασταθεί από το Φεβρουάριο του 2014 και βρίσκεται στο Πανεπιστήμιο Αθηνών στο χώρο της Πανεπιστημιούπολης. Τα χαρακτηριστικά του φωτοσωλήνα, η διάμετρος, το μήκος του σωλήνα και ο αριθμός των LED που έχουν χρησιμοποιηθεί επιλέχθηκαν έτσι ώστε να μπορούν να είναι προσομοιώσουν μια πραγματική εγκατάσταση σε ένα οικιακό περιβάλλον.

Οι παράμετροι που καταγράφονται στην αίθουσα δοκιμών, σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά ή / και διεθνή πρότυπα, είναι η Φωτεινότητα (lux), η Λαμπρότητα (cd / m^2), η Κατανάλωση ενέργειας (kWh), η Ισχύς (kW) και η θερμοκρασία.

- Η ανάλυση των αποτελεσμάτων από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν έδειξαν ότι το σύστημα φωτισμού είναι σε θέση να παράγει επαρκή φυσικό και τεχνητό φωτισμό σε δωμάτια οικιακού περιβάλλοντος. Για παράδειγμα αν τα επίπεδα φωτεινότητας στον εξωτερικό χώρο φτάνουν τα 120kLux, στον εσωτερικό χώρο φτάνουν κατά μέσο όρο τα 430lux με ελάχιστη ένδειξη αισθητήρων τα 40lux και μέγιστη τα 1593lux. Αντίστοιχα για 90kLux η μέση εσωτερική φωτεινότητα είναι περίπου 417lux και η ελάχιστη και μέγιστη ένδειξη αντίστοιχα 43,6 και 1585 lux. Αν η εξωτερική φωτεινότητα είναι 50klux, ο μέσος όρος των αισθητήρων είναι 385lux, η ελάχιστη φωτεινότητα είναι 54,68 και η μέγιστη 1361,84lux. Για μικρότερη εξωτερική φωτεινότητα, της τάξης των 10klux μετρήθηκε μέσος όρος εσωτερικής φωτεινότητας 363lux με μέγιστη και ελάχιστη ένδειξη 73,3 και 1269 lux.
- Επιπλέον, το φως κατανέμεται συμμετρικά και όμοια στο χώρο, τόσο με φυσικό όσο και με τον συνδυασμό του φυσικού και τεχνητού φωτισμού, το οποίο είναι ένα θετικό γεγονός, ειδικά για χώρους όπου οι αλλαγές στο περιβάλλον δεν είναι επιθυμητές.
- Σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί για τον φυσικό και τεχνητό φωτισμό, οι λόγοι που δείχνουν την ποιότητα του φωτισμού στον χώρο παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Οι δείκτες που βοηθούν στην ποσοτική προσέγγιση της ομοιογενούς κατανομής του φωτός σε έναν στο χώρο, είναι η αντίθεση (contrast) και η ομοιομορφία (uniformity).

Εξωτερική φωτεινότητα (E _{ex} , klux)	Φυσικός φωτισμός		Τεχνητός φωτισμός		Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω του daylight sensor (%)
	E _{max} /E _{min} Αποδεκτό όριο 5:1	E _{min} /E _{av} Αποδεκτό όριο >= 0,5	E _{max} /E _{min} Αποδεκτό όριο 5:1	E _{min} /E _{av} Αποδεκτό όριο >= 0,5	
35	4,5	0,04	16	0,18	37,3
40	6,1	0,06	5,3	0,41	
50	4,3	0,04	17	0,17	Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω της αντικατάστασης των πυρακτώσεως με λάμπες Led (%)
60	7,3	0,06	6,7	0,36	91
70	12,2	0,06	4,3	0,44	
80	15	0,08	16,2	0,21	
90	11,6	0,06	7,8	0,32	
100	11	0,05	22,6	0,13	
110	11	0,05	19	0,18	
120	24,5	0,08	39,8	0,09	

Δεν παρατηρείται ομοιογενής κατανομή Φωτεινότητας στο επίπεδο αναφοράς, αλλά όπως φαίνεται και στα διαγράμματα Διάγραμμα 1 Διάγραμμα 10 η κατανομή είναι συμμετρική. Σε χώρους όπου η ομοιογένεια είναι σημαντική, μπορεί να επιτευχθεί με αύξηση της ανακλαστικότητας των εσωτερικών επιφανειών καθώς και με περισσότερα συστήματα φωτισμού σε σειρά, όπως τοποθετούνται τα μέσα τεχνητού φωτισμού.

- Ανάλογα με την ώρα της ημέρας, τη θέση δηλαδή του ήλιου και τις συνθήκες του ουρανού, επηρεάζεται η κατανομή του φωτός στο χώρο. Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα 1-10 και 20-29, αν κάποιος δουλεύει σε συγκεκριμένες θέσεις μακριά από το σύστημα φωτισμού θα έχει μικρότερη αίσθηση του χρόνου, σε σχέση με κάποιον που κάθεται κοντά στην πηγή, αφού οι διακυμάνσεις της Φωτεινότητας περιορίζονται όσο απομακρυνόμαστε από τη πηγή φωτός. Όσο αυξάνεται η εξωτερική βέβαια Φωτεινότητα τόσο αυξάνονται και οι διακυμάνσεις των εσωτερικών συνθηκών ακόμα και σε απομακρυσμένα από τον κεντρικό αισθητήρα σημεία.
- Τα πειραματικά δεδομένα απέδειξαν, επίσης, ότι ο αισθητήρας που καθορίζει τις εσωτερικές συνθήκες είναι σε θέση να κρατήσει τα εσωτερικά επίπεδα φωτισμού σταθερά, με ρύθμιση των LED ανάλογα με το διαθέσιμο φως της ημέρας, παρά το γεγονός ότι η ένδειξη του κάθε αισθητήρα μπορεί να αλλάξει σημαντικά. Η σταθερότητα των επιπέδων φωτισμού κρίνεται απαραίτητη σε χώρους εργασίας ειδικά σε χώρους γραφείων, μελέτης καθώς και εργαστηρίων (χημικών, μικροβιολογικών κλπ)
- Το αποτέλεσμα που προκύπτει από την ανάλυση αυτή είναι η σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας με τη χρήση του συγκεκριμένου συστήματος φωτισμού. Οι ενεργειακές καταγραφές αποκάλυψαν το γεγονός ότι στην Ελλάδα, κατά τη

διάρκεια της περιόδου καταγραφής, η εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να φτάσει το 92%, σε σύγκριση με ένα συμβατικό σύστημα (τεχνητός φωτισμός με λάμπες πυράκτωσης) και το 45% σε σύγκριση με μια εγκατάσταση με την ίδια δύναμη των LEDs, αλλά χωρίς αισθητήρα ανίχνευσης του φωτός της ημέρας.

Επιπρόσθετα οι λαμπτήρες Led έχουν χρόνο ζωής 50.000h σε σύγκριση με τους συμβατικούς πυρακτώσεως που έχουν 1.000h χρόνο ζωής. Συνεπώς η αντικατάστασή τους γίνεται πιο σπάνια. Συνεπώς η συντήρηση και η αντικατάσταση τους γίνεται πιο σπάνια, μειώνοντας παράλληλα και το κόστος.

- Μία ακόμη επιτυχής πρόβλεψη προκύπτει από τη σύγκριση των δύο μεθόδων για την απόδοση του φωτισωλήνα. Τα αποτελέσματα της μεθόδου Luxplot είναι παρόμοια με αυτά των τιμών που μετρήθηκαν πειραματικά. Η μέση διαφορά μεταξύ των πειραματικών μέσων τιμών και των τιμών της μεθόδου Luxplot είναι περίπου 2,5%, η οποία θεωρείται ένα αρκετά ικανοποιητικό ποσοστό λάθους. Αντίθετα, η μέθοδος που περιελάμβανε την προσομοίωση του σωλήνα ως φωτιστική πηγή με συμμετρική εκπομπή φωτός, παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερες διαφορές στα μετρούμενα επίπεδα φωτισμού. Έτσι, συνάγεται το συμπέρασμα ότι η μέθοδος Luxplot μπορεί να δώσει αξιοποιήσιμα αποτελέσματα στους σχεδιαστές και κατασκευαστές φωτισωλήνων, όταν μελετηθεί το σύστημα φωτισμού σε ένα συγκεκριμένο χώρο.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για τους θεωρητικούς υπολογισμούς (Luxplot method, TTE method, προσομοιώσεις) προέρχονται από εμπειρική και πειραματική παρατήρηση και οι εξισώσεις που έχουν προκύψει έχουν ήδη ενσωματωμένο ένα περιθώριο σφάλματος. Εξάλλου, όπως και οι ίδιοι οι συγγραφείς των αντίστοιχων εργασιών αναφέρουν, οι προαναφερόμενες μέθοδοι είναι πιο ακριβείς για συνθήκες πλήρως νεφοσκεπούς ουρανού. Οι πειραματικές μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν επίσης δεν αποτελούν αντιπροσωπευτικό δείγμα όλου του χρόνου και δεν περιλαμβάνουν ακραία καιρικά φαινόμενα ούτε όλες τις πιθανές θέσεις του ήλιου. Τα σφάλματα επίσης μπορεί να οφείλονται σε έλλειψη ευαισθησίας των οργάνων μέτρησης(πχ των αισθητήρων) και αποθήκευσης των δεδομένων.

- Τις περισσότερες φορές, η ομοιομορφία στην κατανομή του φυσικού φωτισμού επιτυγχάνεται με την εφαρμογή είτε μεγάλων γυάλινων επιφανειών, είτε αμφίπλευρου φωτισμού, είτε συνδυασμού πλευρικού φωτισμού και φωτισμού οροφής. Σε χώρους ελεύθερης κίνησης των χρηστών (διάδρομοι, σκάλες, χώροι διέλευσης) όπου η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δεν είναι ενοχλητική και δεν προκαλείται θάμβωση, οι μεγάλες γυάλινες επιφάνειες συμβάλλουν στην αισθητική αναβάθμιση του χώρου, αλλά και στην εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της αντικατάστασης του τεχνητού φωτισμού από το φυσικό.
- Για την αποφυγή της θάμβωσης προτείνεται η χρήση ανοιχτόχρωμων επιφανειών και κουφωμάτων, ώστε να μειώνεται η αντίθεση μεταξύ φωτεινού ουρανού και των εσωτερικών επιφανειών, η μείωση των ανακλαστικών επιφανειών (πχ γυαλιστερές επιφάνειες) στο οπτικό πεδίο των χρηστών και η σκίαση των ανοιγμάτων ανάλογα με τον προσανατολισμό του δωματίου.

Σε χώρους όπως γυμναστήρια, κολυμβητήρια, χώρους εκθέσεων, χώρους που γίνεται χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών κλπ είναι συχνό το φαινόμενο της θάμβωσης λόγω ανακλαστικών υλικών. Συνεπώς, η μελέτη και ο σχεδιασμός του τρόπου φωτισμού και σκίασης αποτελεί σημαντικό κομμάτι για την επίτευξη των εργασιών που εκτελούνται μέσα σε αυτές.

- Η μελέτη επίσης των μετεωρολογικών δεδομένων και η παρατήρηση των φωτιστικών συνθηκών που επικρατούν σε μία περιοχή κάθε μήνα του χρόνου καθώς και η μοντελοποίηση του απαιτούμενου φωτισμού για κάθε μία ώρα της ημέρας σε έναν εσωτερικό χώρο θα μπορούν να έχουν ως αποτέλεσμα την ολοκληρωτική αυτοματοποίηση του συστήματος των LED ώστε να εξοικονομείται ενέργεια όταν οι εξωτερικές συνθήκες το επιτρέπουν. Ένα σύστημα όμοιο με αυτό του πειράματος σε συνδυασμό ίσως με έναν πλευρικό φωτισμό (όπου και εάν απαιτείται) που θα έχει την ευχέρεια να χειρίζεται ο χρήστης του χώρου, είναι η ιδανική λύση για να επιτευχθεί οπτική άνεση και παράλληλη εξοικονόμηση ενέργειας σε έναν εσωτερικό χώρο.

6 Βιβλιογραφία

Επιστημονικά Άρθρα:

- Amsterdam, O., London, B., Paris, N., Diego, S. A. N., & Francisco, S. A. N. (n.d.). Code for Lighting.
- Energy, U. D. O. (2010). EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations. *US Department of Energy*, 1051. Retrieved from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:EnergyPlus+Engineering+Reference,+The+Reference+to+EnergyPlus+Calculations#1>
- Jenkins, D., & Muneer, T. (2004). Light-pipe prediction methods. *Applied Energy*, 79(1), 77–86. doi:10.1016/j.apenergy.2003.11.003
- Konstantina Vasilakopoulou, Afroditi Synnefa, Dionisia Kolokotsa, Theoni Karlessi, M. S. (n.d.). DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR PREDICTING THE PERFORMANCE AND OPTIMIZING THE DESIGN OF AN ENERGY EFFICIENT LIGHTING SYSTEM.
- Vasilakopoulou, K. (n.d.). Proof cover sheet.
- Zazzini, P., Chella, F., & Scarduzio, A. (2006). Numerical and experimental analysis of light pipes ' performances : comparison of the obtained results, (September), 6–8.
- Στάθης Κ. Ζαπίτης. (2010). Προσομοίωση Υβριδικών Φωτοβολταϊκών Θερμικών Συστημάτων νερού με χρήση λογισμικού Energy Plus.
- Mandalaki M., Tsoutsos Th. (2014). Shading Systems: Design, Performance, and Integrated Photovoltaics (Springerbriefs in Energy)

Ιστότοποι:

- ERCO - Discovering light - Lighting technology - Lamps, general. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from <http://www.erco.com/guide/lighting-technology/lamps-general-1606/en/>
- Green Diary - Green Revolution Guide by Dr Prem. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from <http://www.greendiary.com/6-solar-light-pipes-designed-conserve-energy.htm>
- Ηλιασμός.pdf. (n.d.). Retrieved from http://www.digital-in.info/e-tomeas/images/stories/docs/2T1_41/df-c-iliasmos.pdf
- ΟΔΗΓΙΕΣ ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΧΟΛΙΚΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from <http://www.osk.gr/UserFiles/File/Bioklimatika.pdf>

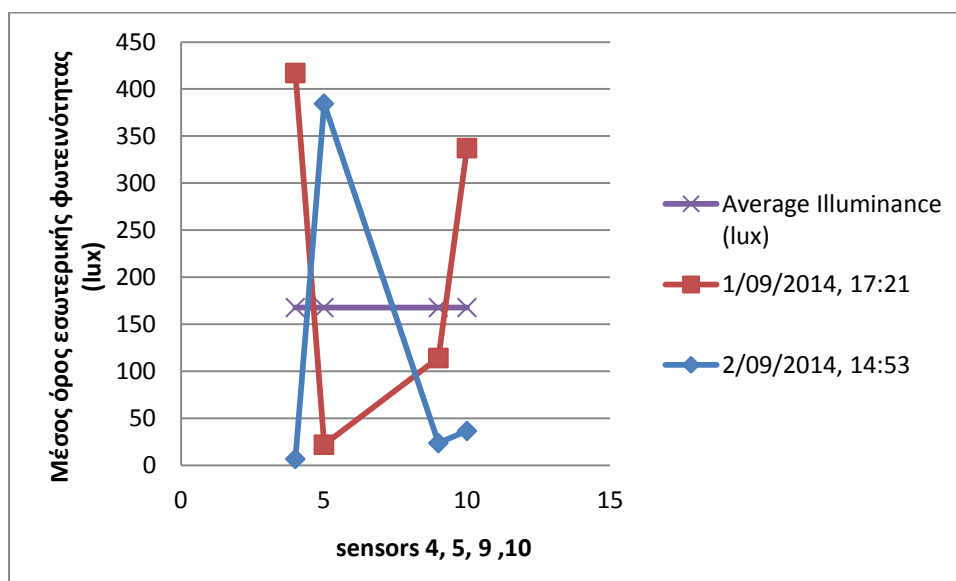
- Point by Point Method for Lighting Design ~ Electrical Knowhow. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from <http://www.electrical-knowhow.com/2012/12/point-by-point-method-for-lighting.html>
- Radiance: a simulation tool for daylighting systems. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from http://raphael.compagno.home.hefr.ch/ref/RADIANCE_tutorial_E.pdf
- ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΤΗΡΙΩΝ. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from http://www.energynius.gr/files4users/files/TOTEE_20701_6_Final_TEE.pdf
- Γενική διεύθυνση έργων διεύθυνση μελετών συμβατικών έργων. (2008).
- Λάμπες φθορίου vs πυρακτώσεως: πλεονεκτήματα - μειονεκτήματα «Coolweb.gr. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from <http://coolweb.gr/lampes-ftorion-lamptires-piraktoseos-pleonektimata-meionektimata/>
- Λαμπτήρες Led. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from http://www.teyatik.com.cy/tey/userfiles/documents/lamptires_LED.pdf
- Triplex υαλοπίνακες | Glass and Metal. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from <http://glassandmetal.gr/gyalia-krystalla/riplex/>
- Τύποι Υαλοπινάκων. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from http://koufomata-expert.blogspot.gr/2010/12/blog-post_21.html
- Τεχνικά Χαρακτηριστικά φωτοσωλήνων. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from <http://www.tsialos.gr/el/λύσεις/τεχνικά-χαρακτηριστικά>
- Τί είναι το φως, σωματίδιο ή κύμα; (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from <https://www.teicrete.gr/physics/lab/fdm/eppa/mk/fasmatoskopio.pdf>
- Φυσικός Φωτισμός. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from http://www.cres.gr/energy_saving/Ktiria/fysikos_fotismos_anoigmata_orofis.htm
- Φωτομετρικά μεγέθη – πολική κατανομή φωτοβολίας. (n.d.). Retrieved October 06, 2014, from <http://physics.teiath.gr/physics/pdf/O8.pdf>
- Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες. (n.d.). Retrieved October 07, 2014, from http://www.4green.gr/data/fotovoltaiika/news/preview_news/88844.asp

7 Παράρτημα

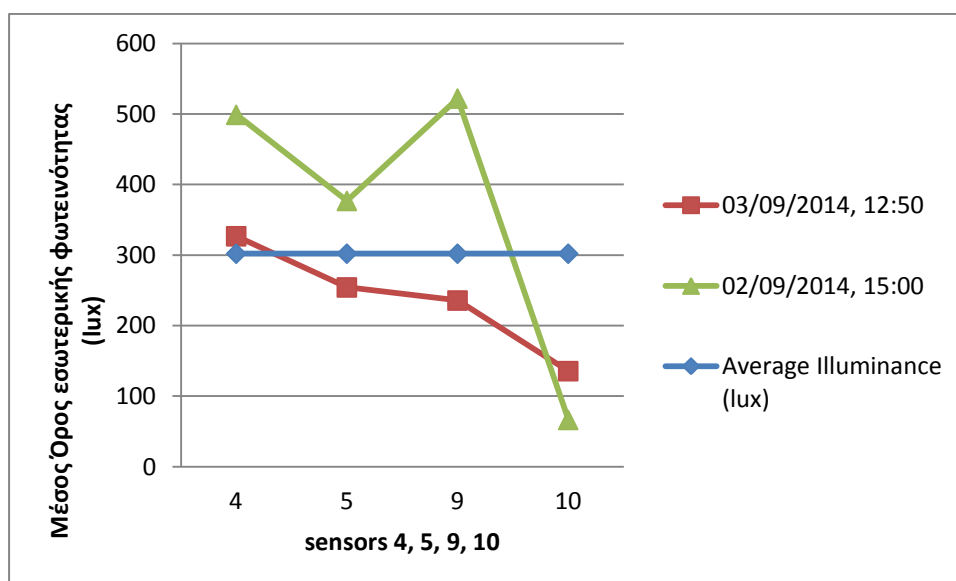
Παράρτημα 1

Παρουσιάζονται ορισμένα διαγράμματα τα οποία προέκυψαν μετά την επεξεργασία των δεδομένων για την περίοδο που εξετάζεται στην εργασία τα οποία παρατίθενται στο παρόν παράρτημα. Ενδεικτικά παρατίθενται τα παρακάτω διαγράμματα τα οποία έχουν προκύψει από την επεξεργασία ορισμένων ημερών του Σεπτεμβρίου.

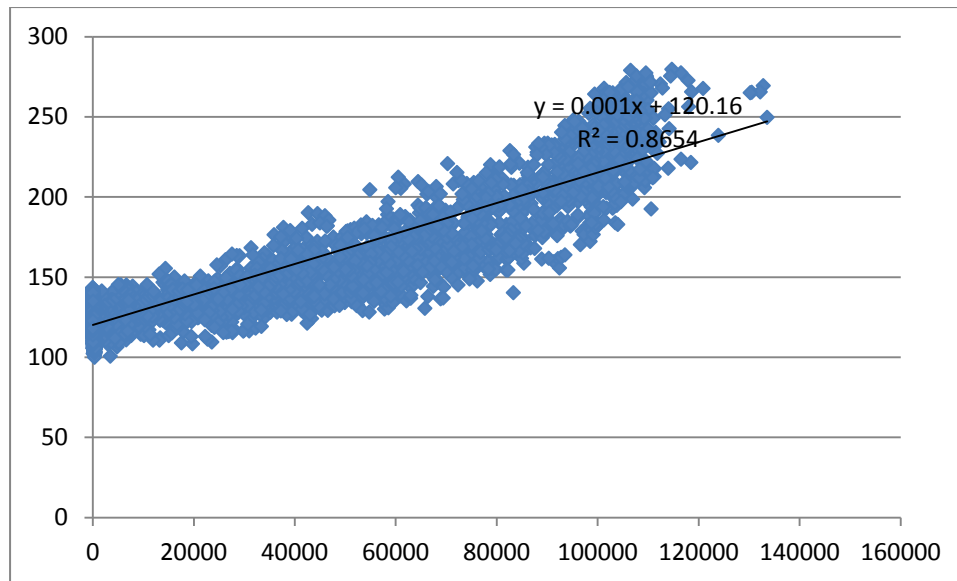
Για εξωτερική φωτεινότητα 40klux



Για εξωτερική φωτεινότητα 110klux



Για τις τέσσερις πρώτες μέρες του Σεπτεμβρίου θα ισχύει το παρακάτω διάγραμμα



Φαίνεται ότι όταν λαμβάνονται μετρήσεις για λιγότερες μέρες, η βέλτιστη ευθεία είναι πιο κοντά στα δεδομένα και η εξίσωση αυτής πιο αντιπροσωπευτική των δεδομένων αυτών.

Τα δεδομένα που εξετάστηκαν για τη χρήση του φυσικού φωτός, σε θέσεις όπως αυτή κάτω ακριβώς από την φωτεινή πηγή (στον αισθητήρα 7) βοηθούν στην εξακρίβωση της εγκυρότητας των συμπερασμάτων της εργασίας. Παρουσιάζεται εξαιρετικά υψηλή φωτεινότητα στον αισθητήρα 7 σε σχέση με τον μέσο όρο όλων των αισθητήρων.

Επίσης η μέγιστη τιμή του μέσου όρου της εσωτερικής φωτεινότητας αντιστοιχεί σε 618 lux για εξαιρετικά υψηλή εξωτερική φωτεινότητα, τιμή που δεν συνάδει με τον μέσο όρο που επικρατεί στο δωμάτιο δοκιμών τον μήνα αυτό. Τα επίπεδα του φωτισμού της ώρες της ημέρας κυμαίνονται από 120 έως 450 lux στο επίπεδο αναφοράς. Οι μετρήσεις που προκύπτουν είναι όμοιες με αυτές που έχουν μελετηθεί αναλυτικά στην εργασία.

Παράρτημα 2

	0.53M							0.65M							0.90M					
	D	L/D	SILVER REFLECTIVE FILMS		ALU ANODISED BRIGHT			VISIBLE MIRROR FILMS	D	L/D	SILVER REFLECTIVE FILMS		ALU ANODISED BRIGHT		VISIBLE MIRROR FILMS					
			0.92	0.95	0.98	0.995					0.92	0.95	0.98			0.995	0.92	0.95	0.98	0.995
L	0.25	0.5	0.97	0.98	0.99	1	0.25	0.4	0.97	0.98	0.99	1	0.25	0.3	0.98	0.99	1	1		
	0.5	0.9	0.93	0.96	0.98	1	0.5	0.8	0.95	0.96	0.99	1	0.5	0.6	0.96	0.98	0.99	1		
	1	1.9	0.87	0.92	0.97	0.99	1	1.5	0.90	0.92	0.97	0.99	1	1.1	0.92	0.95	0.98	1		
	2	3.8	0.77	0.85	0.94	0.98	2	3.1	0.80	0.85	0.95	0.99	2	2.2	0.85	0.91	0.96	0.99		
	3	5.7	0.68	0.78	0.91	0.98	3	4.6	0.72	0.79	0.92	0.98	3	3.3	0.79	0.86	0.94	0.99		
	4	7.6	0.60	0.72	0.88	0.97	4	6.2	0.65	0.73	0.90	0.97	4	4.4	0.73	0.82	0.93	0.98		
	5	9.4	0.53	0.67	0.85	0.96	5	7.7	0.59	0.67	0.88	0.97	5	5.6	0.68	0.79	0.91	0.98		
	6	11.3	0.47	0.62	0.82	0.95	6	9.2	0.53	0.62	0.85	0.96	6	6.7	0.63	0.75	0.89	0.97		
	8	15.1	0.37	0.53	0.77	0.94	8	12.3	0.44	0.54	0.81	0.95	8	8.9	0.55	0.68	0.86	0.96		
	10	18.9	0.29	0.46	0.73	0.92	10	15.4	0.36	0.46	0.77	0.94	10	11.1	0.47	0.62	0.83	0.95		
	12	22.6	0.23	0.40	0.68	0.91	12	18.5	0.30	0.40	0.73	0.92	12	13.3	0.41	0.57	0.80	0.94		
	14	26.4	0.19	0.34	0.64	0.89	14	21.5	0.25	0.35	0.70	0.91	14	15.6	0.36	0.52	0.77	0.94		
	15	28.3	0.17	0.32	0.62	0.89	15	23.1	0.23	0.32	0.68	0.91	15	16.7	0.33	0.50	0.75	0.93		
	16	30.2	0.15	0.30	0.60	0.88	16	24.6	0.21	0.30	0.66	0.90	16	17.8	0.31	0.48	0.74	0.93		
	18	34.0	0.12	0.26	0.57	0.86	18	27.7	0.17	0.26	0.63	0.89	18	20.0	0.27	0.44	0.71	0.92		
	20	37.7	0.10	0.22	0.54	0.85	20	30.8	0.14	0.23	0.60	0.88	20	22.2	0.24	0.40	0.69	0.91		
25	47.2	0.06	0.16	0.46	0.82	25	38.5	0.09	0.16	0.53	0.85	25	27.8	0.17	0.33	0.63	0.89			

	0.25M							0.35M							0.375M					
	D	L/D	SILVER REFLECTIVE FILMS		ALU ANODISED BRIGHT			VISIBLE MIRROR FILMS	D	L/D	SILVER REFLECTIVE FILMS		ALU ANODISED BRIGHT		VISIBLE MIRROR FILMS					
			0.92	0.95	0.98	0.995					0.92	0.95	0.98			0.995	0.92	0.95	0.98	0.995
L	0.25	1	0.93	0.96	0.98	1	0.25	0.7	0.95	0.97	0.99	1	0.25	0.7	0.95	0.97	0.99	1		
	0.5	2	0.87	0.92	0.97	0.99	0.5	1.4	0.90	0.93	0.98	0.99	0.5	1.3	0.91	0.94	0.98	0.99		
	1	4	0.76	0.84	0.93	0.98	1	2.9	0.82	0.87	0.95	0.99	1	2.7	0.83	0.88	0.95	0.99		
	2	8	0.58	0.71	0.87	0.97	2	5.7	0.67	0.76	0.91	0.98	2	5.3	0.69	0.78	0.91	0.98		
	3	12	0.45	0.60	0.81	0.95	3	8.6	0.56	0.66	0.86	0.96	3	8.0	0.58	0.69	0.87	0.97		
	4	16	0.35	0.51	0.76	0.93	4	11.4	0.46	0.58	0.82	0.95	4	10.7	0.49	0.62	0.83	0.95		
	5	20	0.27	0.44	0.71	0.92	5	14.3	0.39	0.51	0.78	0.94	5	13.3	0.41	0.55	0.80	0.94		
	6	24	0.21	0.38	0.67	0.90	6	17.1	0.32	0.45	0.75	0.93	6	16.0	0.35	0.49	0.76	0.93		
	8	32	0.13	0.28	0.59	0.87	8	22.9	0.23	0.35	0.68	0.91	8	21.3	0.25	0.39	0.70	0.91		
	10	40	0.09	0.21	0.52	0.84	10	28.6	0.16	0.28	0.62	0.88	10	26.7	0.18	0.32	0.64	0.89		
	12	48	0.05	0.16	0.46	0.82	12	34.3	0.12	0.22	0.57	0.86	12	32.0	0.13	0.26	0.59	0.87		
	14	56	0.04	0.12	0.40	0.79	14	40	0.09	0.17	0.52	0.84	14	37.3	0.10	0.21	0.54	0.85		
	15	60	0.03	0.10	0.38	0.78	15	42.9	0.07	0.15	0.50	0.83	15	40.0	0.09	0.19	0.52	0.84		
	16	64	0.02	0.09	0.36	0.76	16	45.7	0.06	0.14	0.47	0.82	16	42.7	0.07	0.17	0.50	0.83		
	18	72	0.01	0.07	0.32	0.74	18	51.4	0.05	0.11	0.43	0.80	18	48.0	0.05	0.14	0.46	0.82		
	20	80	0.01	0.05	0.28	0.71	20	57.1	0.03	0.09	0.40	0.79	20	53.3	0.04	0.11	0.42	0.80		
25	100	0	0.03	0.21	0.66	25	71.4	0.02	0.05	0.32	0.74	25	66.7	0.02	0.07	0.34	0.75			

Πίνακας 12: TTE values for various light pipe diameters, tube reflectances, lengths and aspect ratios (source: CIE Technical report 173:2006)

Παράρτημα 3

Υπολογισμός της απαιτούμενης εγκατεστημένης ισχύος με led

Ο υπολογισμός της αναγκαίας εγκατεστημένης ισχύος με LEDs στο σωλήνα που πρόκειται να συμπληρώσουν το φυσικό φωτισμό που παρέχεται από τους φωτοσωλήνες του χώρου, απαιτεί τα βήματα που αναλύονται παρακάτω.

1. Υπολογισμός της ροής (lm) που εκπέμπεται από τους λαμπτήρες.

Η μέγιστη έξοδος φωτός από τα LEDs από πλευράς φωτισμού είναι η E_{LED} και υπολογίζεται ως εξής:

$$E_{LED} = (\Phi_{LED} \cdot B \cdot UF \cdot MF) / A$$

Όπου:

Φ_{LED} = η ροή που εκπέμπεται από όλες τις λυχνίες LED που περιλαμβάνονται σε έναν σωλήνα φωτός,

N = ο αριθμός των αγωγών φωτός στο δωμάτιο,

UF = ο συντελεστής χρησιμοποίησης του φωτιστικού,

MF = συντελεστή συντήρησης του φωτιστικού, A = περιοχή του επιπέδου εργασίας / αναφοράς.

2. Εκτίμηση της φωτεινής απόδοσης (lm/W) των LEDs

Αυτό το βήμα κρίνεται απαραίτητο όταν οι λαμπήρες δεν έχουν οριστεί ακριβώς και η φωτεινή απόδοση παρέχεται από τον κατασκευαστή.

Οι παράμετροι που εξετάζονται είναι η θερμοκρασία χρώματος των λαμπτήρων και οι απώλειες που εμποδίζουν το φως να φτάσει στο επίπεδο αναφοράς.

3. Υπολογισμός της ισχύος των LEDs

Η ισχύς κάθε λαμπτήρα (W) υπολογίζεται διαιρώντας την ολική φωτεινή ροή (Φ_{LED}) που προέρχεται από τους λαμπτήρες ενός φωτοσωλήνα προς την φωτεινή απόδοση μίας λυχνίας LED.

$$P_{LED} = \frac{\Phi_{LED}}{\eta}$$

Παράρτημα 4: Χαρακτηριστικά εξοπλισμού

i) Daylight sensor

Product datasheet



DIM MULTI | Stand-alone motion/daylight sensors with 1...10 V dimming interface



Areas of application

- Individual offices
- Open-plan offices
- Common areas

Product benefits

- Energy savings up to 70 % (compared to CCG + T8 lamp, without sensors)
- Daylight-dependent control with automatic shutdown in adequate daylight
- Compensates for 100 % of the incoming daylight
- Multiple sensors can be networked

Product features

- 1...10 V light and presence sensor
- Combined daylight and presence detection
- All functions selectable via rotary switch
- Adjustable switch-off delay: 1...30 min

Product datasheet

Technical data

Electrical data

Nominal voltage	220...240 V
Mains frequency	50...60 Hz
System wattage	1 W

Dimensions & weight



Product line drawing

Length	58.0 mm
Width	71.0 mm
Height	42.0 mm
Product weight	130.00 g

Colors & materials

Product color	White
---------------	-------

Temperatures

Ambient temperature range	0...+50 °C
---------------------------	------------

Capabilities

Dimming interface	1...10 V
Maximum installation height	5 m
Detection area	12 m ²
Detection angle	110 ° ± 1°
Number of control outputs	1
Load contact	5 A

Product datasheet

Type of installation	Luminaire integration/On-top ceiling mounting/Clip on lamp
----------------------	------------------------------------------------------------

¹⁾ Approximately

Certificates & standards

Type of protection	IP20
--------------------	------

Equipment / Accessories

- Suitable for up to 30 electronic control gears

ii)

Round

Led

modules

Product family datasheet



COINlight Pro

Round LED modules



Areas of application

- Shop lighting
- Hotels
- Restaurants
- Furniture luminaires

Product benefits

- Low maintenance costs thanks to a lifetime of up to 50,000 h
- System+ Guarantee in combination with OSRAM OPTOTRONIC control gear

Product features

- Fits into standard MR16 fixtures
- Luminous intensity comparable to that of halogen lamps MR16 (20 W, 35 W, 50 W)
- Integrated optics and heat sink
- High-quality aluminum housing
- For parallel connection
- Three-core connecting cable with a length of 500 mm
- Module efficacy: up to 71 lm/W
- Fine White

Technical data

Electrical data

Product description	Nominal wattage	Rated wattage	Energy consumption	Nominal voltage
CP51 -W4F-8-827	7.50 W	7.50 W	9 kWh/1000h	24.00 V

Product description	Type of current	Claimed equiv. conventional lamp power
CP51 -W4F-8-827	DC	35 W

Photometrical data

Product description	Total useful luminous flux	Luminous efficacy	Color temperature	Light color as per EN 12464-1
CP51 -W4F-8-827	500 lm	60 lm/W	2700 K	Warm White

Product description	Color rendering index Ra	Standard deviation of color matching	Luminous intensity	Rated peak intensity
CP51 -W4F-8-827	≥80	≤3 sdcn	900 cd	1000 cd

Product description	Lumen main.fact.at end of nom.life time	Nominal useful luminous flux 90°	Rated useful luminous flux 90°
CP51 -W4F-8-827	0.70	475 lm	475 lm

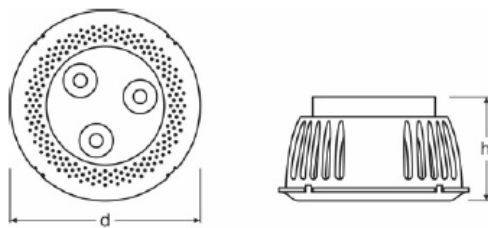
Light technical data

Product description	Nominal beam angle	Rated beam angle (half peak value)	Starting time	Warm-up time (60 %)
CP51 -W4F-8-827	36.00 °	36.00 °	< 0.1 s	< 2.00 s

Dimensions & weight

Product description	Diameter	Rated height	Cable length	Product weight
CP51 -W4F-8-827	51.0 mm	23.70 mm	500.0 mm	57.00 g

Product line drawing



Product line drawing
CP51 -W4F-8-827

Temperatures

Product description	Temperature range at storage
CP51 -W4F-8-827	-30...90 °C

Lifespan

Product description	Lifespan	Nominal lamp life time	Rated lamp life time	Number of switching cycles
CP51 -W4F-8-827	50000 / 25000 h ¹⁾	50000 h	50000 h	≥25000

¹⁾ L70/850 at Tc max. 90 °C with heat sink

Capabilities

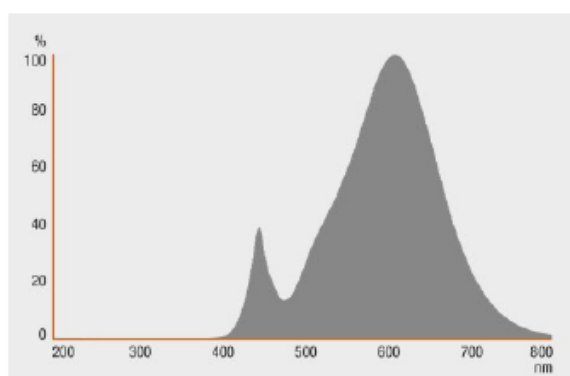
Product description	Dimmable
CP51 -W4F-8-827	Yes

Certificates & standards

Product description	Standards	Energy efficiency class
CP51 -W4F-8-827	acc. to EC 61347-2-	A

Product description	Standards	Energy efficiency class
	13/acc. to EN 55015/acc. to IEC 61547/acc. to IEC 61000-3-2/ENEC: 61347-2-13/acc.to IEC/EN 62384	

Light Distribution



Spectral power distribution
CP51 -W4F-8-827

Παράρτημα 5: Ενδεικτικό δείγμα καταγραφών των αισθητήρων του πειράματος

i) Δείγμα από μετρήσεις εσωτερικής φωτεινότητας οφειλόμενης σε φυσικό φωτισμό

TIMESTAMP	Average Illuminance (lux)													
	Sensor_1	Sensor_2	Sensor_3	Sensor_4	Sensor_5	Sensor_6	Sensor_7	Sensor_8	Sensor_9	Sensor_10	Sensor_11	Sensor_12	Sensor_13	Sensor_Out
TS	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg	Avg
28/5/2014 10:00	56,54	0,00	113,08	118,14	22,78	281,00	236,28	109,70	212,65	72,57	0,00	118,14	0,00	63529,02
28/5/2014 10:15	33,53	61,88	0,00	153,24	127,59	138,61	308,05	193,97	70,43	170,12	6,08	0,00	61,66	64572,39
28/5/2014 10:30	35,55	9,68	57,60	159,99	110,26	251,57	295,45	222,99	153,01	143,34	15,30	61,65	0,00	74220,48
28/5/2014 10:45	21,38	70,88	0,00	195,76	169,66	226,59	373,52	275,42	98,56	193,29	34,88	3,38	57,38	79554,11
28/5/2014 11:00	0,00	52,65	37,80	138,15	162,46	267,98	319,73	253,81	139,73	139,50	43,20	23,18	9,67	73688,22
28/5/2014 11:15	53,55	50,63	14,85	216,69	164,94	279,02	458,14	276,77	170,79	216,02	22,05	38,48	52,88	89649,45
28/5/2014 11:30	7,65	66,60	42,53	196,44	222,77	368,35	684,73	390,40	230,87	307,37	64,35	46,80	35,33	10775,610
28/5/2014 11:45	81,46	0,67	61,20	248,42	216,91	574,46	1367,85	292,96	408,17	321,32	18,22	98,56	24,75	10901,520
28/5/2014 12:00	66,61	132,31	0,00	334,37	371,05	632,74	1397,79	383,65	428,88	304,90	32,63	0,00	146,26	10873,150
28/5/2014 12:15	73,35	43,20	47,25	304,65	344,92	790,65	1905,52	504,67	551,92	214,87	21,60	74,93	34,88	11728,180
28/5/2014 12:30	28,57	117,67	0,00	258,51	342,43	502,17	1983,28	668,22	409,03	328,94	52,87	0,00	96,30	11597,380
28/5/2014 12:45	25,65	71,32	42,30	237,36	314,09	440,08	1512,61	759,57	437,38	272,69	47,25	59,85	46,12	11982,560
28/5/2014 13:00	66,15	38,47	35,32	242,76	252,21	404,30	1304,46	772,37	465,49	332,08	23,62	83,47	68,40	11890,420
28/5/2014 13:15	26,55	94,50	11,70	236,24	292,49	333,66	1189,53	774,42	391,04	338,16	56,02	40,72	85,72	11909,100
28/5/2014 13:30	9,45	77,62	51,75	231,29	259,41	375,96	1081,75	699,49	374,16	304,41	69,75	62,77	49,50	11697,520
28/5/2014 13:45	37,35	83,47	41,17	260,54	243,67	386,32	1200,57	655,41	345,14	261,67	57,82	64,12	59,17	11276,520
28/5/2014 14:00	88,64	82,12	7,20	326,43	247,92	359,73	1009,23	512,94	293,81	275,59	15,08	59,62	97,19	10433,980
28/5/2014 14:15	104,15	134,74	0,00	376,34	277,59	266,12	809,37	520,54	207,85	317,63	10,12	0,00	164,44	98965,05
28/5/2014 14:30	123,27	5,62	55,56	352,94	196,60	498,03	832,74	394,33	435,27	229,44	0,00	120,12	42,96	10435,200
28/5/2014 14:45	70,41	0,00	88,40	241,58	190,52	448,30	657,05	346,41	341,91	176,13	16,20	116,29	0,00	90232,75
28/5/2014 15:00	65,90	0,00	98,52	207,16	136,53	395,43	432,32	288,59	285,89	169,37	5,40	118,54	0,00	73171,15
28/5/2014 15:15	48,58	47,68	0,00	196,13	174,99	205,35	410,93	300,50	126,85	182,86	9,00	13,49	55,11	62210,94
28/5/2014 15:30	43,41	23,17	28,11	161,49	121,23	251,00	349,06	211,64	154,06	140,35	4,27	43,86	18,89	60208,38
28/5/2014 15:45	41,83	65,22	0,00	186,90	148,89	176,10	375,14	248,30	89,51	176,33	21,82	0,00	63,87	62936,44
28/5/2014 16:15	0,00	15,74	79,17	94,46	119,20	267,86	225,12	211,18	156,98	68,82	39,13	62,07	0,00	61632,73
28/5/2014 16:30	0,00	49,70	42,51	132,69	161,93	233,00	281,35	267,63	134,27	129,54	52,40	42,06	3,37	69681,72
28/5/2014 16:45	85,69	38,91	0,00	203,98	118,30	180,14	308,56	181,49	121,90	202,86	0,00	41,61	69,27	69884,65
29/5/2014 9:45	80,57	0,00	64,59	164,75	49,29	234,74	232,04	124,01	185,00	137,96	0,00	101,28	3,38	87871,24
29/5/2014 10:00	41,41	23,86	42,76	155,75	121,09	189,06	236,55	212,92	128,51	151,92	20,03	66,40	18,91	92628,68

29/5/2014 10:15	23,63	69,99	14,85	160,6 9	168,1 2	190,6 3	263,7 7	264,2 2	101,5 0	194,2 3	27,01	23,18	50,64	91416 ,71
29/5/2014 10:30	63,23	0,00	95,87	232,0 1	124,4 5	334,4 1	308,9 8	264,8 8	205,9 1	195,3 4	12,16	109,3 7	0,00	96405 ,49
29/5/2014 10:45	0,00	66,38	37,81	191,0 5	199,3 7	333,2 7	338,8 9	309,6 4	141,5 4	171,9 2	61,43	26,78	16,88	90650 ,53
29/5/2014 11:00	82,36	0,00	62,78	231,1 1	104,1 9	363,6 5	374,0 0	196,9 0	211,0 8	181,8 2	0,00	91,14	9,00	86027 ,61
29/5/2014 11:15	11,25	62,33	18,00	184,0 7	179,5 7	269,8 1	430,7 1	295,2 4	146,2 7	191,9 5	48,16	20,70	39,60	85861 ,50
29/5/2014 11:30	48,60	14,63	39,83	167,6 3	119,2 5	291,1 6	471,6 1	232,4 3	191,7 0	198,0 0	6,75	55,80	22,05	77930 ,21
29/5/2014 11:45	0,00	65,70	54,90	85,72 1	197,3 1	289,3 3	456,4 9	297,6 6	160,4 2	128,4 7	75,37	17,55	0,00	72625 ,25
29/5/2014 12:00	9,00	16,65	38,70	113,3 9	114,5 2	208,5 6	321,5 0	211,0 3	122,8 4	103,4 9	24,75	36,90	1,13	56833 ,42
29/5/2014 14:15	32,17	52,20	51,98	222,7 6	206,1 1	367,4 4	573,7 7	411,9 9	240,5 3	177,3 0	36,00	51,98	24,30	91539 ,99

ii) Δείγμα από μετρήσεις εσωτερικής φωτεινότητας οφειλόμενης σε τεχνητό φωτισμό

TIMEST AMP	Average Illuminance (lux)													
	Sensor_1	Sensor_2	Sensor_3	Sensor_4	Sensor_5	Sensor_6	Sensor_7	Sensor_8	Sensor_9	Sensor_10	Sensor_11	Sensor_12	Sensor_13	Sensor_Out
TS	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux	Lux
"2014-06-10 12:15:00"	193,56	54,02	111,19	488,64	318,03	956,57	1593,08	765,03	328,61	486,83	40,06	154,17	90,93	120129,90
"2014-06-10 12:30:00"	127,61	92,28	109,38	370,00	338,94	943,24	1764,03	1215,79	322,29	481,19	60,32	97,68	119,06	128090,80
"2014-06-10 12:45:00"	57,39	128,73	150,79	243,74	459,12	920,71	2048,27	1236,70	359,87	459,35	145,84	101,50	42,76	130915,40
"2014-06-10 13:00:00"	173,07	82,60	82,15	496,27	303,61	911,28	1733,45	1218,05	364,38	615,55	39,84	112,76	128,51	129169,90
"2014-06-10 13:15:00"	104,43	168,80	47,04	363,26	404,22	871,91	1661,00	1177,55	286,06	600,25	117,48	53,56	123,79	115158,30
"2014-06-10 13:30:00"	110,28	123,10	106,90	420,63	439,30	891,43	1661,57	1004,41	392,49	552,06	92,94	113,65	84,84	105872,70
"2014-06-10 13:45:00"	43,66	174,62	96,76	345,65	417,20	830,58	1585,55	857,58	260,58	526,79	143,57	52,43	94,96	88441,42
"2014-06-10 14:00:00"	119,48	110,71	158,19	410,20	456,55	975,22	1581,41	1023,59	405,48	456,55	117,01	136,81	42,08	119260,10
"2014-06-10 14:15:00"	91,13	128,25	117,45	381,16	416,49	694,82	1507,30	866,72	346,06	419,41	105,08	93,38	82,58	85636,07
"2014-06-10 14:30:00"	90,46	151,89	87,53	432,48	480,41	676,40	1512,78	722,75	335,95	468,26	99,46	62,10	121,06	85642,41
"2014-06-10 14:45:00"	136,36	123,76	70,88	365,19	358,67	726,79	1674,57	883,87	333,70	380,27	75,60	99,91	98,55	53159,39

"														
"2014-06-10 15:00:00"	114,31	129,61	105,54	484,25	472,32	767,78	1425,07	748,43	349,01	375,34	87,98	102,16	100,58	80316,98
"2014-06-10 15:15:00"	118,14	110,04	117,46	347,43	389,51	779,03	1361,84	818,86	357,34	348,79	103,73	104,64	54,68	50626,25
"2014-06-10 15:30:00"	158,18	94,95	101,25	514,60	380,71	793,83	1442,31	780,78	404,57	452,72	57,15	116,55	110,48	52727,98
"2014-06-10 15:45:00"	126,90	104,85	146,03	486,68	345,61	798,31	1449,25	801,24	490,06	469,81	57,83	131,85	95,85	94214,79
"2014-06-10 16:00:00"	92,70	130,73	140,62	419,85	427,95	734,40	1215,45	777,38	372,60	343,35	103,50	122,17	65,48	90820,23
"2014-06-10 16:15:00"	135,89	169,64	69,07	555,05	496,10	760,69	1510,57	917,95	386,76	535,70	92,47	88,20	144,22	97436,02
"2014-06-10 16:30:00"	201,83	80,33	75,38	510,09	300,38	692,12	1227,18	665,57	381,38	474,31	43,88	131,40	131,40	84057,73
"2014-06-10 16:45:00"	133,87	132,30	72,00	489,14	410,39	724,94	1476,20	667,11	297,67	378,67	67,95	112,95	100,35	26599,65
"2014-06-10 17:00:00"	68,62	134,99	134,31	331,18	406,54	641,20	1369,02	925,58	414,87	446,14	116,99	107,32	67,72	54390,86
"2014-06-10 17:15:00"	113,16	130,49	112,49	370,31	302,82	547,82	1103,75	716,56	355,47	469,31	108,66	104,84	88,87	53474,34
"2014-06-10 17:30:00"	75,59	146,23	125,31	362,66	432,63	829,71	1473,59	802,49	317,44	422,95	110,69	81,22	105,96	53578,72
"2014-06-10 17:45:00"	77,84	116,53	146,68	378,17	452,85	710,44	1105,92	711,12	382,22	363,09	119,68	110,01	63,89	49672,39
"2014-06-10 18:00:00"	126,43	97,41	85,03	364,89	471,07	655,99	1614,55	636,19	417,53	391,66	90,88	72,21	114,73	32568,93
"2014-06-10 18:15:00"	70,87	164,00	89,31	400,45	391,67	862,30	1163,99	901,67	351,85	397,30	115,18	80,09	102,59	35570,63
"2014-06-10 18:30:00"	88,64	155,45	72,44	406,52	490,88	567,38	1481,65	959,05	286,61	400,67	102,59	54,89	107,99	35039,14
"2014-06-10 18:45:00"	115,86	118,11	97,64	465,25	352,08	616,43	1731,84	745,11	339,26	465,92	82,12	115,64	81,89	28632,01
"2014-06-10 19:00:00"	108,21	80,54	121,26	394,15	332,95	885,93	1323,72	715,85	424,07	339,70	89,54	103,93	85,04	23892,29
"2014-06-10 19:15:00"	126,66	130,93	82,11	470,86	411,24	681,88	1416,42	714,05	309,33	435,99	60,29	105,96	112,26	19593,44

"2014-06-10 19:30:00"	128,23	112,71	88,64	424,52	361,53	756,35	1402,69	756,57	293,13	421,37	74,92	88,19	101,01	15236,97
"2014-06-10 19:45:00"	100,79	123,73	105,28	348,93	334,08	709,10	1269,27	742,17	352,30	363,78	85,26	119,23	73,34	10498,83
"2014-06-10 20:00:00"	84,14	120,13	109,56	358,15	368,50	783,35	1367,37	779,52	335,21	319,46	96,29	102,81	57,59	6779,58
"2014-06-10 20:15:00"	105,51	98,31	96,74	336,78	372,33	653,10	1515,42	740,61	328,46	328,46	105,06	81,44	78,29	4482,51
"2014-06-10 20:30:00"	150,06	53,77	112,94	403,16	307,09	743,55	1563,60	725,78	408,34	389,21	49,27	155,23	71,54	2440,95
"2014-06-10 20:45:00"	91,34	125,54	104,16	345,34	405,86	692,48	1472,47	832,41	348,04	372,34	104,61	79,42	94,04	1016,32
"2014-06-10 21:00:00"	115,42	123,74	73,57	403,85	404,97	728,28	1582,10	841,89	305,98	420,95	86,84	42,52	123,29	320,84
"2014-06-10 21:15:00"	122,39	139,94	51,97	469,09	401,37	702,85	1647,12	816,25	291,81	451,77	69,97	39,37	146,24	163,79
"2014-06-10 21:30:00"	122,39	110,92	83,47	448,85	367,63	724,01	1535,99	784,98	312,51	422,52	58,50	96,29	121,94	148,08
"2014-06-10 21:45:00"	127,34	88,64	87,52	452,45	326,01	748,98	1444,20	764,06	321,06	420,05	64,35	87,74	103,94	91,99
"2014-06-10 22:00:00"	93,37	149,18	74,47	346,95	439,66	607,95	1653,08	760,51	317,92	380,93	104,40	54,90	101,02	143,61
"2014-06-10 22:15:00"	162,45	102,38	72,00	470,48	361,13	739,36	1674,46	790,43	359,78	455,85	65,70	95,63	104,40	130,15
"2014-06-10 22:30:00"	112,51	122,86	96,76	395,12	358,68	748,85	1378,22	807,58	309,39	400,08	71,78	98,33	93,61	125,66
"2014-06-10 22:45:00"	150,09	95,18	74,03	480,87	349,00	709,26	1624,19	780,59	346,30	441,26	56,25	102,61	111,83	112,20
"2014-06-10 23:00:00"	107,55	103,28	103,28	393,54	387,69	790,91	1512,96	800,36	381,84	331,89	114,31	92,70	67,28	100,98
"2014-06-10 23:15:00"	137,48	100,35	96,30	447,75	309,82	766,35	1471,50	807,97	339,52	435,15	66,37	94,27	98,55	105,47
"2014-06-10 23:30:00"	150,97	88,87	77,85	459,90	336,15	736,64	1583,99	785,92	343,12	430,20	44,77	103,95	115,65	85,27